

Turnitin Perpustakaan UKI

FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis

-  Turnitin Dosen 14
-  Turnitin Dosen - Okt
-  Universitas Kristen Indonesia

Document Details

Submission ID

trn:oid:::1:3684805986

Submission Date

Oct 20, 2026, 9:06 AM GMT+7

Download Date

Oct 20, 2026, 9:16 AM GMT+7

File Name

26-07-78-EBOOK-Fraktur_Ekstremetas_Bawah.pdf

File Size

3.8 MB

123 Pages

20,349 Words

140,095 Characters

4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography

Top Sources

- 4%  Internet sources
- 1%  Publications
- 2%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 4% Internet sources
- 1% Publications
- 2% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	repository.uki.ac.id	<1%
2	Internet	www.scribd.com	<1%
3	Student papers	Fakultas Kedokteran	<1%
4	Internet	edoc.pub	<1%
5	Internet	repository.penerbiteureka.com	<1%
6	Internet	media.neliti.com	<1%
7	Internet	adoc.pub	<1%
8	Internet	uwspace.uwaterloo.ca	<1%
9	Internet	123dok.com	<1%
10	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%
11	Student papers	Badan PPSPM Kesehatan Kementerian Kesehatan	<1%

12	Internet	aott.org.tr	<1%
13	Internet	idoc.pub	<1%
14	Student papers	Saxion University	<1%
15	Publication	TOMÁŠ NOVOTNÝ, KAMAL MEZIAN, ONDŘEJ NAŇKA. "Ultrasound-Guided Interve...	<1%
16	Internet	repository.mediapenerbitindonesia.com	<1%
17	Internet	nanopdf.com	<1%
18	Internet	pdfcoffee.com	<1%
19	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
20	Internet	www.catatanfisioterapi.com	<1%
21	Internet	doktermaya.wordpress.com	<1%
22	Internet	journal.lpkd.or.id	<1%
23	Internet	ml.scribd.com	<1%
24	Internet	repository.poltekkes-kaltim.ac.id	<1%
25	Internet	www.science.gov	<1%

26	Internet	repository.ucb.ac.id	<1%
27	Internet	repository.umi.ac.id	<1%
28	Internet	repository.unja.ac.id	<1%
29	Internet	www.alodokter.com	<1%
30	Internet	www.researchgate.net	<1%
31	Internet	documents1.worldbank.org	<1%
32	Internet	dokumen.tips	<1%
33	Internet	ejournal.stiesa.ac.id	<1%
34	Internet	journal.larpainstitute.com	<1%
35	Internet	jurnal.jomparnd.com	<1%
36	Internet	pt.scribd.com	<1%
37	Internet	reposister.almaata.ac.id	<1%
38	Internet	s3.amazonaws.com	<1%
39	Publication	Baydar, Mehmet. "Eksternal Fiksatorle Tedavi Edilen Açık Tibia Diafiz Kırıklarının ...	<1%

40

Internet

doku.pub

<1%



dr. Wendy Hendrika, Sp.OT, Subsp.PL(K)

dr. Anggi Halley Anastasius, M.Ked (Surg), Sp.OT

dr. Gerard Benny Nanna, Sp.OT



FRAKTUR

Ekstremitas Bawah: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis



FRAKTUR

Ekstremitas Bawah: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis

Buku *Fraktur Ekstremitas Bawah: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis* karya Wendy Hendrika, Anggi Halley Anastasius, Gerard Benny Nanna merupakan buku referensi akademis yang mengupas tuntas tantangan cedera sistem muskuloskeletal pada ekstremitas bawah secara empiris, sistematis, dan logis. Mengingat regio ini berfungsi vital sebagai penopang berat badan dan kendali pergerakan tubuh, setiap keterlambatan atau kegagalan diagnosis berisiko tinggi memicu kecacatan permanen serta beban sosio-ekonomi yang masif akibat hilangnya produktivitas kerja. Penulis memetakan epidemiologi kasus ini secara bimodal, di mana populasi usia muda produktif didominasi oleh kasus trauma energi tinggi akibat kecelakaan lalu lintas, sedangkan populasi lanjut usia didominasi oleh trauma energi rendah seperti jatuh terpeleset akibat kerapuhan tulang patologis atau osteoporosis.

Untuk memastikan restorasi fungsi gerak yang sempurna, buku ini mengintegrasikan pemahaman arsitektur anatomi dan biomekanika cedera dengan sistem klasifikasi internasional kontemporer seperti kodifikasi alfanumerik AO/OTA dan baku emas Gustilo-Anderson. Penulis juga menekankan pentingnya kolaborasi interdisipliner dalam mengelola penyakit komorbiditas pasien seperti diabetes melitus dan gangguan kardiovaskular yang dapat mengacaukan kaskade osifikasi biologis dan memicu komplikasi fatal seperti sindrom kompartemen atau emboli paru. Sebagai kontinum pelayanan yang utuh, buku ini ditutup dengan panduan protokol rehabilitasi fungsional bertahap (*weight-bearing*) serta ulasan inovasi teknologi ortopedi masa depan, mulai dari teknik bedah invasif minimal (MIPO) hingga pemanfaatan kecerdasan buatan dalam memprediksi prognosis secara presisi.

FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH:

Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis

dr. Wendy Hendrika, Sp.OT, Subsp.PL(K)
dr. Anggi Halley Anastasius, M.Ked (Surg), Sp.OT
dr. Gerard Benny Nanna, Sp.OT



PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis

Penulis : dr. Wendy Hendrika, Sp.OT, Subsp.PL(K)
dr. Anggi Halley Anastasius, M.Ked (Surg),
Sp.OT
dr. Gerard Benny Nanna, Sp.OT

Editor : dr. Ida Bagus Artha Vijaya Antara

Desain Sampul : Nur Arif Budiman

Tata Letak : Fahri Ardhian Kelviansyah

ISBN : 978-634-315-848-6

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, OKTOBER 2026**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekamediaaksara@gmail.com
Cetakan Pertama : 2026

All rights reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku *Fraktur Ekstremitas Bawah: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis* dapat diselesaikan. Fraktur ekstremitas bawah merupakan cedera muskuloskeletal yang sering dijumpai dan dapat menimbulkan gangguan mobilitas, penurunan fungsi, komplikasi, serta beban perawatan yang bermakna. Buku ini disusun untuk membahas karakteristik demografi pasien, distribusi anatomis fraktur, mekanisme cedera, evaluasi klinis, komplikasi, rehabilitasi, dan faktor-faktor yang memengaruhi luaran klinis. Pembahasan disajikan secara sistematis untuk membantu pembaca memahami fraktur ekstremitas bawah secara menyeluruh, mulai dari pengenalan pola cedera hingga penilaian hasil perawatan. Penulis berharap buku ini dapat menjadi sumber rujukan bagi mahasiswa kedokteran, dokter, dan tenaga kesehatan dalam mendukung pembelajaran serta pelayanan klinis yang rasional dan berbasis bukti. Penulis menyampaikan terima kasih kepada penerbit, rekan sejawat, dan seluruh pihak yang telah mendukung proses penyusunan buku ini.

Jakarta, 02 Juli 2026

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 EPIDEMIOLOGI DAN URGENSI KLINIS	
FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH.....	1
A. Pendahuluan dan Latar Belakang Global	1
B. Beban Sosio-Ekonomi Fraktur Anggota Gerak Bawah.....	4
C. Karakteristik Berdasarkan Usia.....	6
D. Disparitas Jenis Kelamin dan Gender dalam Trauma.	8
E. Korelasi Pekerjaan, Aktivitas Fisik, dan Gaya Hidup	11
BAB 2 ANATOMI FUNGSIONAL DAN BIOMEKANIKA ANGGOTA GERAK BAWAH	14
A. Arsitektur Tulang dan Sendi Ekstremitas Bawah.....	14
B. Vaskularisasi dan Persarafan Klinis	24
C. Kinetika dan Biomekanika Cedera	28
BAB 3 KLASIFIKASI DAN PATOFISIOLOGI FRAKTUR	31
A. Patofisiologi Kerusakan Tulang dan Jaringan Lunak	31
B. Sistem Klasifikasi Fraktur AO/OTA	39
C. Fraktur Terbuka vs. Fraktur Tertutup	43
BAB 4 KARAKTERISTIK KLINIS TRAUMA.....	46
A. Analisis Etiologi dan Mekanisme Trauma.....	46
B. Distribusi Anatomis Spesifik Fraktur	49
C. Komorbiditas dan Kondisi Sistemik Pasien	73
BAB 5 PRINSIP PENANGANAN FRAKTUR	77
A. Penilaian Awal dan Resusitasi Pasien Trauma	78
B. Prinsip Penanganan Fraktur Tertutup	81
C. Prinsip Penanganan Fraktur Terbuka	84
BAB 6 PROGNOSIS, KOMPLIKASI, DAN REHABILITASI PASCA-FRAKTUR	88
A. Prognosis Pasca-Fraktur	88
B. Komplikasi Pasca-Fraktur	90

C. Pencegahan Komplikasi Sekunder	100
D. Rehabilitasi dan Fisioterapi Pasca-Fraktur	101
E. Evaluasi Klinis dan Radiologis Berkala	103
F. Arah Pengembangan Klinis Kontemporer	104
PENUTUP	105
DAFTAR PUSTAKA	107
TENTANG PENULIS	111

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Schatzker Klasifikasi : Fraktur Tibial Plateau.....	68
Tabel 5.1	Temuan Ortopedi yang Dicari pada Setiap Tahap Survei Primer	81
Tabel 5.2	Metode Fiksasi Fraktur dan Pertimbangan Utamanya	82
Tabel 5.3	Rekomendasi Waktu Pemberian Antibiotik, Debridement, dan Penutupan Jaringan Lunak pada Fraktur Terbuka.....	85
Tabel 6.1	Faktor Prognostik Utama	89
Tabel 6.2	Kompartemen Tungkai Bawah dan Petunjuk Klinisnya	91
Tabel 6.3	Fase Rehabilitasi Pasca-Fraktur Ekstremitas Bawah Berdasarkan Target Terapi dan Intervensi Fungsional.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kecelakaan Lalu Lintas sebagai Faktor Pemicu Utama Trauma Ortopedi Global.....	2
Gambar 1.2	Komponen Biaya Langsung dalam Manajemen Perawatan Fraktur Ekstremitas Bawah	5
Gambar 1.3	Kerentanan Fraktur Diafisis Tulang Panjang pada Usia Produktif Akibat Gaya Mekanis Eksternal.....	9
Gambar 1.4	Gambaran Radiografi Fraktur Proksimal Femur Akibat Osteoporosis Patologis pada Populasi Wanita Lansia.....	10
Gambar 1.5	Analisis Distribusi Beban Mekanis Vertikal pada Kerangka Akibat Aktivitas Fisik Okupasional	11
Gambar 1.6	Manifestasi Trauma Mekanis Akut pada Ekstremitas Bawah Selama Aktivitas Olahraga Kontak	12
Gambar 2.1	Struktur Kerangka Ekstremitas Bawah	15
Gambar 2.2	A. Potongan Frontal Articulation Coxae Kanan. B. Kompleks Kapsuloligamentar Anterior. C. Kompleks Kapsuloligamentar Posterior.....	20
Gambar 2.3	ROM hip (a) Fleksi: paha mendekati abdomen. (b) Ekstensi: hanya beberapa derajat. (c) Abduksi: umumnya lebih besar daripada adduksi. (d-e) Rotasi internal eksternal: bervariasi tergantung posisi panggul saat fleksi atau ekstensi.	21
Gambar 2.4	Kompleksitas Jaringan Lunak dan Struktur Artikular pada Articulation Genu (a) Alignment normal – tampak anterior: terdapat valgus fisiologis ringan pada lutut dengan aksis tungkai relatif simetris. (b) Alignment normal – tampak posterior: menunjukkan kesejajaran femur-tibia dan posisi hindfoot dari belakang. (c) Genu valgum (knock-knee): kedua lutut cenderung mendekat, sedangkan pergelangan kaki tetap berjauhan. (d) Genu varum (bow-leg): kedua	

pergelangan kaki mendekat, sedangkan lutut tetap berjauhan. 22

Gambar 2.5 Ilustrasi Anatomi Ligamentum Articulatione Talocruralis dan Regio Tarsalis pada Proyeksi Superior, Lateral, dan Medial 24

Gambar 2.6 Jalur Utama Vaskularisasi Arterial pada Anggota Gerak Bawah 25

Gambar 2.7 Jalur Anatomi Nervus pada Extremitas Bawah dan Distribusi Inervasi Klinis (Anterior & Posterior) 27

Gambar 2.8 Kurva Karakteristik Mekanis Tulang Terhadap Beban Mekanis 28

Gambar 4.1 Klasifikasi Garden Fraktur Leher Femur Berdasarkan Kelengkapan dan Pergeseran 52

Gambar 4.2 Klasifikasi Pauwels Berdasarkan Sudut Garis Fraktur terhadap Bidang Horizontal 53

Gambar 4.3 Klasifikasi Winquist–Hansen pada Fraktur Diafisis Femur. 59

Gambar 4.4 Klasifikasi Salter–Harris Cedera Lempeng Pertumbuhan 63

Gambar 4.5 Klasifikasi AO/OTA Fraktur Patela 66

Gambar 4.6 Gambaran Schatzker Klasifikasi : Fraktur Tibial Plateau..... 67

Gambar 4.7 Klasifikasi Weber Fraktur Pergelangan Kaki 70

Gambar 4.8 Trias Virchow pada Pasien Fraktur Ekstremitas Bawah..... 75

Gambar 5.1 Survei Primer x ABCDE dengan Penekanan pada Temuan dan Tindakan Ortopedi 79

Gambar 5.2 Alur Penilaian Awal Fraktur Terbuka Ekstremitas Bawah di Instalasi Gawat Darurat 84

Gambar 5.3 Kerangka Keputusan Waktu Fiksasi Definitif Berdasarkan Respons Terhadap Resusitasi 86

Gambar 6.1 Lingkaran Patofisiologi Sindrom Kompartemen Akut..... 91

Gambar 6.2 Anatomi Kompartemen Tungkai Bawah pada Potongan Aksial..... 92

Gambar 6.3 Contoh Progresi Fase Rehabilitasi dan
Pembekanan Pasca-Fraktur Ekstremitas Bawah. ..102



FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH: Karakteristik Demografi dan Luaran Klinis

dr. Wendy Hendrika, Sp.OT, Subsp.PL(K)
dr. Anggi Halley Anastasius, M.Ked (Surg), Sp.OT
dr. Gerard Benny Nanna, Sp.OT



BAB 1

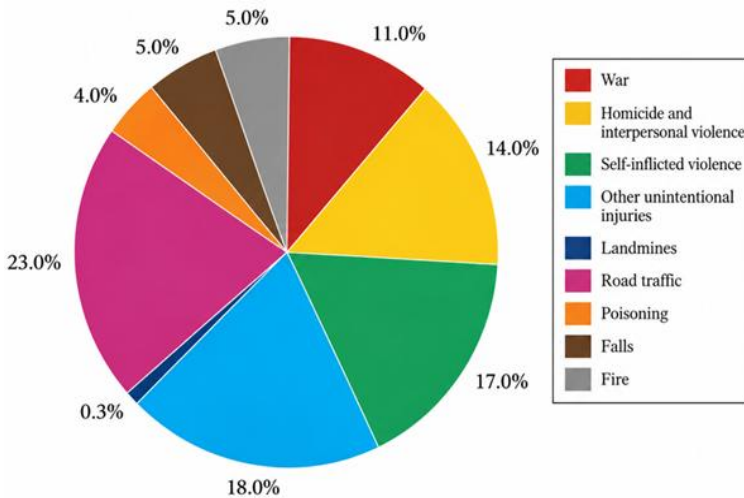
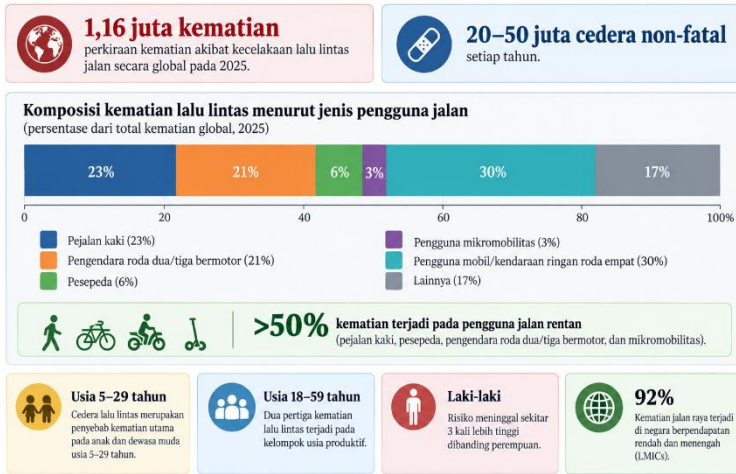
EPIDEMIOLOGI DAN URGENSI KLINIS FRAKTUR EKSTREMITAS BAWAH

A. Pendahuluan dan Latar Belakang Global

Cedera muskuloskeletal merupakan salah satu tantangan kesehatan global yang paling mendesak pada abad modern. Di antara berbagai jenis cedera tersebut, fraktur ekstremitas bawah atau anggota gerak bawah berkontribusi signifikan terhadap mobilitas, kemandirian fisik, dan kualitas hidup pasien. Secara global, jumlah kasus fraktur menunjukkan peningkatan dalam beberapa dekade terakhir. Peningkatan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk pertumbuhan populasi, perubahan struktur usia, tingginya paparan trauma lalu lintas, serta meningkatnya jumlah individu usia lanjut yang rentan mengalami fraktur fragilitas.

Cedera Lalu Lintas Jalan Global Menurut WHO

Ringkasan data global terbaru yang tersedia dari WHO



Source: World Health Organization. Global Health Estimates 2021: Deaths by cause, age, sex, by country and by region, 2000–2021. Geneva: WHO; 2024.

Gambar 1.1 Kecelakaan Lalu Lintas sebagai Faktor Pemicu Utama Trauma Ortopedi Global

Gambar menunjukkan bahwa cedera lalu lintas masih menjadi masalah kesehatan global yang besar, dengan sekitar 1,16 juta kematian pada 2025 dan puluhan juta cedera non-fatal

setiap tahun. Beban ini terutama mengenai kelompok usia muda dan produktif, sehingga berdampak besar terhadap kehilangan fungsi, produktivitas, serta kebutuhan perawatan jangka panjang.

Berdasarkan *WHO Global Status Report on Road Safety 2023*, lebih dari setengah kematian lalu lintas terjadi pada pengguna jalan rentan, terutama pejalan kaki, pengguna kendaraan roda dua atau tiga, pesepeda, dan pengguna mikromobilitas. Proporsi ini menegaskan bahwa kelompok dengan perlindungan fisik minimal memiliki risiko cedera berat yang lebih tinggi ketika terjadi benturan.

Dari sisi demografi, cedera lalu lintas merupakan penyebab utama kematian pada usia 5-29 tahun, sementara sebagian besar kematian juga terjadi pada kelompok usia produktif. Laki-laki memiliki risiko kematian yang lebih tinggi dibandingkan perempuan, dan beban terbesar terjadi di negara berpendapatan rendah dan menengah. Dalam konteks ortopedi, pola ini penting karena trauma lalu lintas merupakan salah satu sumber utama cedera muskuloskeletal dan fraktur ekstremitas.

Derajat keparahan fraktur ekstremitas bawah dipengaruhi oleh besarnya dan mekanisme transfer energi saat trauma terjadi. Pada populasi usia produktif, fraktur ekstremitas bawah sering berkaitan dengan trauma energi tinggi (*high-energy trauma*), seperti kecelakaan kendaraan bermotor atau jatuh dari ketinggian, yang mentransfer energi mekanik besar ke tulang dan jaringan lunak. Mekanisme ini sering kali menghasilkan pola fraktur yang kompleks, seperti fraktur kominutif/multifragmenter dan fraktur terbuka (*open fracture*) yang disertai kerusakan masif jaringan lunak di sekitarnya. Sebaliknya, pada populasi geriatri, pola cedera umumnya berbeda.

Penurunan densitas massa tulang akibat osteoporosis membuat populasi lansia sangat rentan terhadap low-energy trauma, seperti jatuh terpeleset saat berjalan (*mechanical fall*). Pada kelompok ini, fraktur proksimal femur atau fraktur panggul (*hip fracture*), termasuk fraktur kolum femur dan

fraktur intertrokanter, merupakan cedera penting karena umumnya terjadi akibat trauma energi rendah pada tulang yang rapuh dan berkaitan dengan penurunan mobilitas, peningkatan kebutuhan perawatan, serta risiko komplikasi sistemik.

Urgensi klinis penanganan fraktur ekstremitas bawah terletak pada pencegahan komplikasi sistemik dan lokal. Anggota gerak bawah menopang seluruh berat badan manusia (*weight-bearing*) dan memfasilitasi lokomosi. Keterlambatan diagnosis atau penatalaksanaan yang tidak sesuai dapat meningkatkan risiko kecacatan permanen, malunion (tulang menyambung dalam posisi buruk), non-union (tulang gagal menyambung), hingga infeksi kronis seperti osteomielitis.

Oleh karena itu, pemetaan komprehensif mengenai karakteristik demografi (siapa yang paling rentan) dan karakteristik klinis (bagaimana pola kerusakan tulangnya) menjadi landasan penting dalam menyusun strategi triase gawat darurat, standardisasi prosedur bedah ortopedi, serta kebijakan preventif cedera di tingkat nasional maupun internasional.

B. Beban Sosio-Ekonomi Fraktur Anggota Gerak Bawah

Dampak klinis dari fraktur ekstremitas bawah tidak hanya terbatas pada kerusakan struktural jaringan tulang dan otot, melainkan berujung pada beban finansial dan sosial yang bermakna. Beban ekonomi yang ditimbulkan oleh kasus ini dapat dikelompokkan menjadi dua aspek utama, yaitu biaya langsung (*direct costs*) dan biaya tidak langsung (*indirect costs*).

Kombinasi keduanya menciptakan tekanan finansial yang signifikan bagi pasien, keluarga, serta penyedia jaminan kesehatan nasional. Biaya langsung mencakup seluruh pengeluaran medis riil sejak pasien memasuki fase gawat darurat. Komponen ini meliputi biaya tindakan bedah reduksi terbuka dan fiksasi internal (ORIF) atau fiksasi eksternal (OREF), penggunaan implan ortopedi (seperti plates, screws, atau intramedullary nails), masa rawat inap di rumah sakit (*length of stay*), terapi farmakologi pasca-operasi, hingga pemeriksaan radiologi berkala. Bagi rumah sakit dan sistem asuransi

kesehatan, tingginya volume kasus fraktur ekstremitas bawah membutuhkan alokasi sumber daya material dan tenaga medis secara berkelanjutan.



Gambar 1.2 Komponen Biaya Langsung dalam Manajemen Perawatan Fraktur Ekstremitas Bawah

Di sisi lain, biaya tidak langsung justru sering kali memberikan dampak ekonomi jangka panjang yang lebih merusak. Fraktur ekstremitas bawah dapat segera membatasi aktivitas dan menurunkan produktivitas pasien, menyebabkan hilangnya produktivitas secara instan karena pasien harus menjalani cuti medis yang panjang selama berbulan-bulan.

Secara sosial, beban psikologis dan ketergantungan fisik menjadi tantangan tersendiri. Pasien fraktur ekstremitas bawah dapat mengalami keterbatasan mobilitas pada fase awal penyembuhan, sehingga memerlukan bantuan penuh dari anggota keluarga (*caregiver*) untuk melakukan aktivitas harian paling mendasar (*activities of daily living*). Ketergantungan ini sering kali memaksa salah satu anggota keluarga untuk mengurangi jam kerja atau berhenti bekerja, yang dapat menambah beban ekonomi keluarga. Proses rehabilitasi fisik dan fisioterapi yang membutuhkan waktu lama tidak jarang memicu gangguan kecemasan dan depresi pada pasien akibat hilangnya kemandirian.

C. Karakteristik Berdasarkan Usia

Variabel usia merupakan salah satu indikator demografi paling krusial dalam analisis epidemiologi fraktur ekstremitas bawah. Distribusi usia tidak hanya memengaruhi angka kejadian (insiden), tetapi juga menentukan mekanisme trauma, lokasi anatomis patahan tulang, serta pilihan intervensi medis yang akan diambil. Dalam literatur ortopedi kontemporer, pola insiden fraktur anggota gerak bawah berdasarkan usia menunjukkan grafik bimodal, artinya terdapat dua puncak keaktifan kasus dengan karakteristik klinis yang bertolak belakang.

1. Puncak Pertama: Populasi Usia Muda dan Produktif (Usia 15–45 Tahun)

Pada kelompok usia ini, insiden fraktur didominasi oleh laki-laki. Faktor risiko utama sangat berkaitan dengan tingginya mobilitas, aktivitas luar ruangan, paparan lingkungan kerja, serta perilaku berkendara.

- a. Mekanisme Trauma: Mayoritas kasus disebabkan oleh trauma berenergi tinggi (high-energy trauma), seperti kecelakaan lalu lintas kecepatan tinggi, jatuh dari ketinggian pada pekerja konstruksi, atau cedera kontak langsung pada atlet.
- b. Karakteristik Klinis: Karena struktur matriks tulang pada usia muda masih sangat padat dan kokoh, dibutuhkan gaya mekanis yang sangat besar untuk mematahkan tulang tersebut. Akibatnya, fraktur yang terjadi sering kali bersifat kominutif (hancur menjadi beberapa fragmen), tidak stabil, dan disertai kerusakan jaringan lunak serta neurovaskular yang masif (Fraktur Gustilo Tipe II atau III). Lokasi yang paling sering terkena adalah korpus (shaft) femur dan korpus tibia.

2. Puncak Kedua: Populasi Usia Lanjut / Geriatri (Usia di atas 60 Tahun)

Sebaliknya, pada populasi geriatri, insiden fraktur bergeser dan lebih mendominasi pada wanita. Faktor risiko pada kelompok ini tidak digerakkan oleh aktivitas fisik yang

ekstrem, melainkan oleh faktor kerentanan internal (*intrinsic fragility*).

- a. Mekanisme Trauma: Mayoritas kasus terjadi melalui mekanisme trauma berenergi rendah (low-energy trauma). Kejadian paling umum adalah terjatuh saat berjalan di permukaan datar (simple mechanical fall), seperti terpeleset di kamar mandi atau tersandung di dalam rumah.
- b. Karakteristik Klinis: Penurunan drastis hormon estrogen pada wanita pasca-menopause serta proses penuaan alami memicu penurunan densitas massa tulang secara progresif (osteoporosis). Akibatnya, struktur tulang menjadi sangat rapuh. Gaya trauma minimal sudah cukup untuk memicu fraktur. Lokasi anatomis yang menjadi predileksi utama pada pasien geriatri adalah area proksimal femur, khususnya fraktur kolum femur (leher femur) dan fraktur intertrokanter.

3. Implikasi Usia Terhadap Proses Pemulihan (Prognosis)

Faktor usia berbanding terbalik dengan kecepatan regenerasi biologi tulang. Pada anak-anak dan usia muda, aktivitas lapisan kambium periosteum sangat aktif, sehingga fase pembentukan kalus berjalan cepat dengan kapasitas remodeling yang masif.

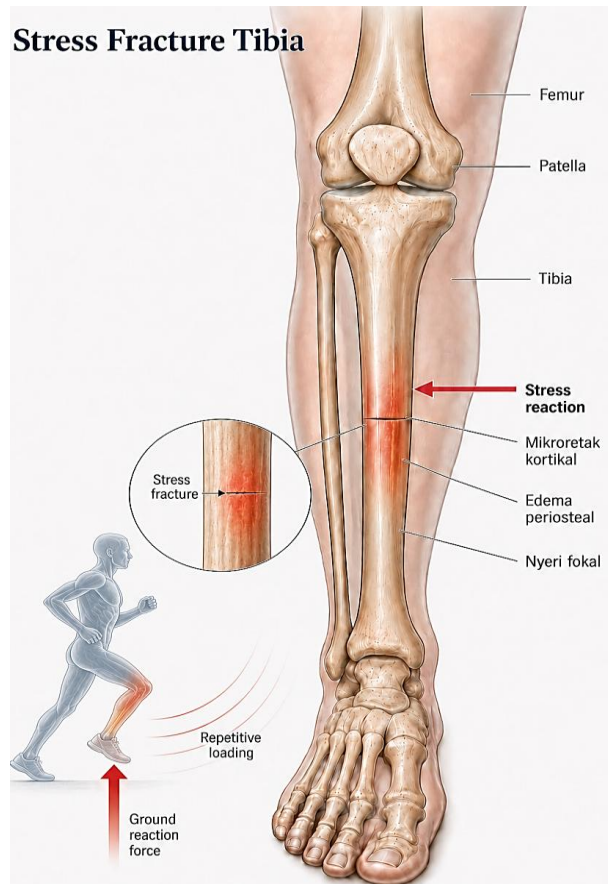
Pada pasien lansia, penurunan suplai darah mikrovaskular, penurunan jumlah sel progenitor mesenkim, serta adanya penyakit komorbiditas sistemik (seperti diabetes melitus atau gangguan kardiovaskular) secara signifikan memperlambat kaskade penyembuhan tulang. Imobilisasi jangka panjang pada pasien geriatri pasca-fraktur juga memicu komplikasi sekunder yang mengancam jiwa, seperti pneumonia hipostatik, deep vein thrombosis (DVT), dan ulkus dekubitus. Oleh karena itu, strategi tata laksana pada pasien lansia diarahkan pada tercapainya stabilitas yang memungkinkan mobilisasi dini, dengan metode yang disesuaikan menurut lokasi dan pola fraktur serta kondisi pasien.

D. Disparitas Jenis Kelamin dan Gender dalam Trauma

Analisis faktor risiko populasi tidak hanya bertumpu pada variabel usia, melainkan juga sangat dipengaruhi oleh faktor jenis kelamin biologis (sex) dan peran gender sosial (gender). Terdapat perbedaan pola epidemiologi yang mencolok antara pasien laki-laki dan perempuan dalam hal insiden, kerentanan struktur anatomi, tipe aktivitas pemicu trauma, hingga luaran klinis pasca-cedera pada kasus fraktur ekstremitas bawah.

1. Dominasi Laki-Laki pada Trauma Berenergi Tinggi (*High-Energy Trauma*)

Pada rentang usia produktif (15 hingga 44 tahun), angka kejadian fraktur ekstremitas bawah didominasi secara signifikan oleh kelompok laki-laki dengan rasio mencapai 3:1 dibanding perempuan. Disparitas ini sebagian besar dipengaruhi oleh faktor gender sosial yang berkaitan dengan pilihan aktivitas fisik, jenis pekerjaan dengan risiko keselamatan tinggi (seperti konstruksi, industri berat, dan pertambangan), serta kecenderungan perilaku berkendara di jalan raya.



Gambar 1.3 Kerentanan Fraktur Diafisis Tulang Panjang pada Usia Produktif Akibat Gaya Mekanis Eksternal

Secara klinis, pasien laki-laki muda lebih sering datang dengan pola fraktur kominutif yang tidak stabil pada korpus femur atau korpus tibia yang disebabkan oleh kecelakaan kendaraan bermotor berkecepatan tinggi atau jatuh dari tempat tinggi. Trauma pada kelompok ini umumnya disertai dengan cedera penyerta (*associated injuries*) yang kompleks, robekan jaringan otot yang luas, serta risiko tinggi terjadinya perdarahan masif dan sindrom kompartemen akut.

2. Dominasi Perempuan pada Kasus Fragilitas Geriatri (*Osteoporotic Fractures*)

Peta epidemiologi berbalik secara drastis ketika populasi memasuki fase usia lanjut (di atas 60 tahun). Pada kelompok geriatri, perempuan mendominasi kasus fraktur ekstremitas bawah secara mutlak, terutama untuk area proksimal femur (panggul).



Gambar 1.4 Gambaran Radiografi Fraktur Proksimal Femur Akibat Osteoporosis Patologis pada Populasi Wanita Lansia

Trauma energi rendah akibat jatuh terpeleset di dalam rumah sudah cukup untuk memicu fraktur kolum femur atau fraktur intertrokanter. Keduanya memerlukan pendekatan yang berbeda. Fraktur intertrokanter pada umumnya ditata laksana dengan fiksasi internal, sedangkan arthroplasty digunakan hanya pada situasi tertentu. Pada fraktur kolum femur, pilihan antara fiksasi dan arthroplasty dipengaruhi oleh derajat pergeseran, usia fisiologis, kualitas tulang, status mobilitas sebelum cedera, serta pertimbangan mempertahankan kaput femur. Sasaran bersama keduanya adalah tercapainya stabilitas yang memungkinkan mobilisasi dini.

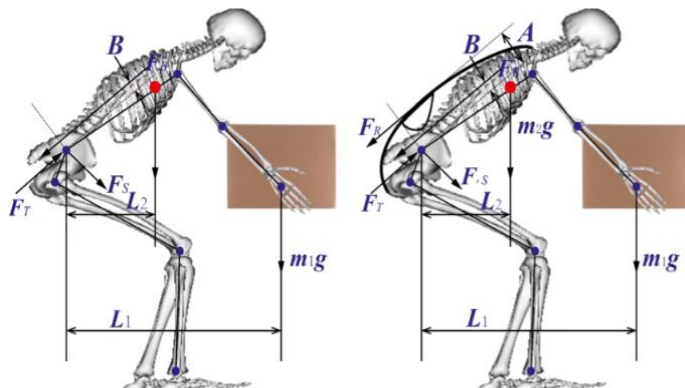
E. Korelasi Pekerjaan, Aktivitas Fisik, dan Gaya Hidup

Selain faktor biologis intrinsik seperti usia dan jenis kelamin, manifestasi fraktur ekstremitas bawah sangat dipengaruhi oleh interaksi eksternal pasien dengan lingkungannya. Aktivitas okupasional (pekerjaan), intensitas aktivitas fisik, serta pilihan gaya hidup berkontribusi signifikan dalam membentuk peta risiko trauma ortopedi melalui modifikasi paparan mekanis eksternal dan kualitas kepadatan matriks tulang internal.

1. Faktor Risiko Okupasional (Karakteristik Pekerjaan)

Jenis pekerjaan menentukan besarnya risiko paparan trauma mekanis secara langsung. Populasi pekerja dapat dibagi menjadi beberapa kelompok risiko berdasarkan beban mekanis yang diterima sehari-hari:

- Pekerja Sektor Industri Berat dan Konstruksi: Kelompok ini memiliki paparan tertinggi terhadap trauma berenergi tinggi (*high-energy trauma*). Aktivitas memanjat perancah (*scaffolding*), beroperasi di dekat alat berat, atau mengangkat beban masif menempatkan pekerja pada risiko jatuh dari ketinggian atau tertimpa benda tebal. Pola cedera yang dihasilkan umumnya berupa fraktur kominitif tidak stabil pada femur atau kruris, yang sering kali bersifat terbuka.



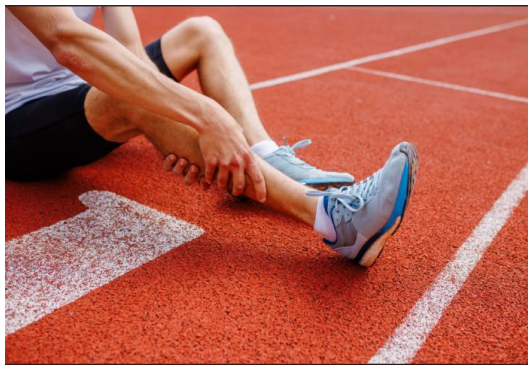
Gambar 1.5 Analisis Distribusi Beban Mekanis Vertikal pada Kerangka Akibat Aktivitas Fisik Okupasional

Pekerja Transportasi dan Lapangan: Pengendara komersial atau petugas lapangan memiliki durasi paparan yang panjang terhadap risiko kecelakaan lalu lintas di jalan raya. Fraktur ekstremitas bawah pada kelompok ini sering dipicu oleh gaya kompresi aksial frontal saat tabrakan, yang memicu fraktur dislokasi panggul atau fraktur hancur pada patella dan tibial plateau.

2. Pengaruh Aktivitas Fisik dan Olahraga

Pengaruh aktivitas fisik terhadap risiko fraktur bergantung pada jenis, intensitas, dan pola pembebanan. Di satu sisi, latihan fisik teratur meningkatkan kekuatan tulang. Di sisi lain, aktivitas fisik ekstrem atau olahraga kontak menaikkan risiko cedera akut:

- a. Fraktur Akut Akibat Olahraga Kontak: Olahraga seperti sepak bola, bola basket, atau lari jarak jauh melibatkan gerakan akselerasi, deselerasi tiba-tiba, serta gaya puntir (*torsional stress*) yang tinggi pada sendi lutut dan pergelangan kaki. Kondisi ini sering menghasilkan fraktur spiral pada tibia atau fraktur malleolus kompleks.



Gambar 1.6 Manifestasi Trauma Mekanis Akut pada Ekstremitas Bawah Selama Aktivitas Olahraga Kontak

- b. Fraktur Stres (Stress Fracture / Fatigue Fracture): Terjadi akibat akumulasi mikrotrauma berulang yang terjadi terus-menerus tanpa waktu pemulihan yang adekuat. Kasus ini sangat umum ditemukan pada rekrutmen militer atau atlet lari. Gaya geser berulang melampaui

kemampuan adaptasi remodeling tulang, menghasilkan retakan halus mikroskopik, terutama pada korpus tibia atau tulang metatarsal kaki.

3. Kontribusi Gaya Hidup dan Kebiasaan Metabolik

Gaya hidup modern memengaruhi kekuatan mekanis internal tulang (*bone quality*) melalui jalur metabolisme:

- a. Kebiasaan Merokok (Paparan Nikotin): Nikotin bertindak sebagai vasokonstriktor kuat yang mempersempit pembuluh darah mikroskopik dan menghambat angiogenesis (pembentukan kapiler baru). Selain itu, nikotin beracun langsung bagi sel osteoblas dan menghambat penyerapan kalsium di usus. Pasien fraktur yang merokok mengalami perpanjangan waktu penyembuhan tulang hingga dua kali lipat dan memiliki risiko kegagalan penyambungan (non-union) yang sangat tinggi.
- b. Konsumsi Alkohol Kronis dan Sedentary Lifestyle: Konsumsi alkohol mengganggu homeostasis kalsium dan menekan sekresi hormon pertumbuhan, yang memicu osteoporosis sekunder. Sementara itu, gaya hidup kurang bergerak (*sedentary lifestyle*) menghilangkan stimulasi mekanis harian yang dibutuhkan tulang untuk mempertahankan kepadatannya. Kurangnya paparan sinar matahari pagi juga menyebabkan defisiensi Vitamin D, yang memperlemah kekuatan struktural tulang penopang beban tubuh

BAB 2

ANATOMI FUNGSIONAL DAN BIOMEKANIKA ANGGOTA GERAK BAWAH

33

Fraktur ekstremitas bawah terjadi pada kelompok dan situasi tertentu dengan pola yang khas. Pola tersebut tidak muncul secara acak, melainkan mengikuti hukum struktur dan mekanika. Bab ini membahas dasar anatomi dan biomekanika yang menjelaskan mengapa tulang tertentu patah pada lokasi tertentu, mengapa fragmen bergeser ke arah tertentu, dan mengapa struktur neurovaskular tertentu ikut terancam pada cedera tertentu.

A. Arsitektur Tulang dan Sendi Ekstremitas Bawah

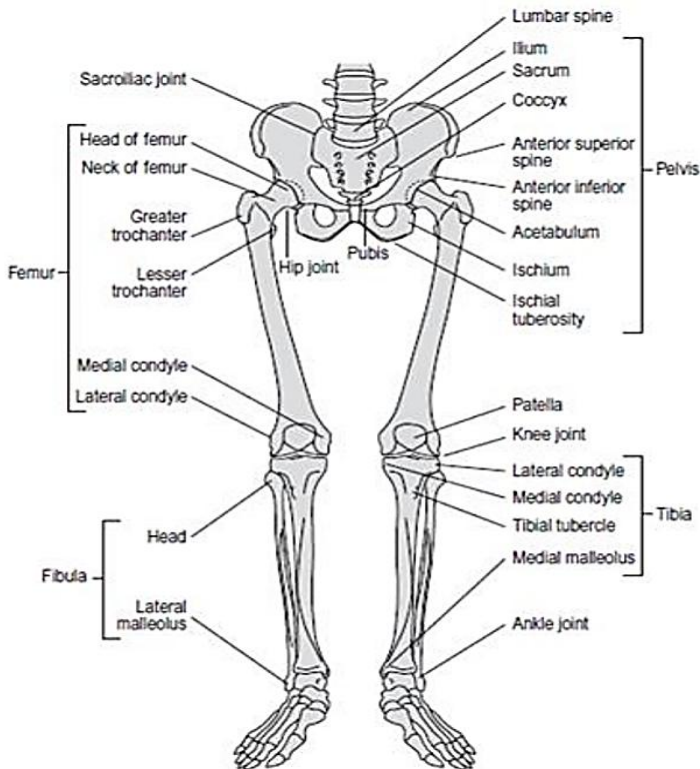
Ekstremitas bawah merupakan sistem muskuloskeletal terintegrasi yang tersusun atas tulang, kartilago, sendi, ligamen, otot, tendon, pembuluh darah, dan saraf. Struktur tersebut bekerja secara bersama untuk menopang berat badan, mempertahankan postur, menyerap serta meneruskan beban, dan menghasilkan gerak lokomotor (*locomotion*) seperti berdiri, berjalan, berlari, dan melompat.

Kemampuan tersebut bergantung pada keselarasan tulang, kongruensi sendi, integritas jaringan lunak, dan kontrol neuromuskular. Secara regional, ekstremitas bawah dibagi menjadi panggul, paha, lutut, tungkai bawah, pergelangan kaki, dan kaki. Setiap regio memiliki karakteristik anatomi dan mekanis yang berbeda. Panggul meneruskan beban dari tubuh menuju femur, paha dan tungkai bawah membentuk segmen pengungkit, sedangkan pergelangan kaki serta kaki beradaptasi terhadap permukaan tumpuan dan menghasilkan gaya dorong

13

selama berjalan. Regio-regio tersebut bekerja sebagai suatu rantai kinetik.

Perubahan panjang, rotasi, keselarasan, mobilitas, atau stabilitas pada satu segmen dapat mengubah pola gerak dan distribusi beban pada segmen lainnya. Dalam konteks trauma, kerusakan tulang dan jaringan lunak dapat menimbulkan deformitas, instabilitas, gangguan neurovaskular, serta hilangnya kemampuan ekstremitas untuk menopang beban. Oleh karena itu, cedera tidak dapat dinilai hanya berdasarkan garis fraktur tanpa memperhatikan hubungan tulang, sendi, dan jaringan lunak di sekitarnya.



Gambar 2.1 Struktur Kerangka Ekstremitas Bawah
 Al-Hayali NK, Chiad JS, Nacy SM, Hussein O. A review of passive and quasi-passive lower limb exoskeletons for gait rehabilitation. J Mech Eng Res Dev. 2021;44(9):436-447.

1. Arsitektur Tulang Ekstremitas Bawah

Tulang panjang dibagi menjadi epifisis, metafisis, dan diafisis. Epifisis berada pada ujung tulang dan pada daerah sendi dilapisi oleh kartilago artikular yang ditopang oleh tulang subkondral. Metafisis merupakan daerah peralihan antara epifisis dan diafisis, dengan korteks yang relatif lebih tipis dan kandungan tulang trabekular yang lebih besar. Diafisis membentuk korpus tulang, memiliki korteks yang lebih tebal, dan mengelilingi kanalis medularis. Pembagian tersebut penting karena setiap daerah memberikan respons berbeda terhadap pembebanan dan trauma. Tulang matur tersusun sebagai tulang lamelar yang secara struktural dibedakan menjadi tulang kortikal dan trabekular.

Tulang kortikal membentuk lapisan luar yang padat, terutama pada diafisis dan lempeng subkondral, serta memberikan ketahanan terhadap pembebanan aksial, tekuk, dan torsi. Tulang trabekular membentuk jejaring tiga dimensi yang banyak ditemukan pada epifisis dan metafisis. Orientasi dan ketebalan trabekula mengikuti kebutuhan mekanis lokal sehingga membantu mendistribusikan beban dari permukaan sendi menuju korteks.

Tulang trabekular lebih berpori dan mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan tulang kortikal. Karena itu, tulang trabekular lebih aktif secara metabolik dan lebih cepat mengalami perubahan akibat osteoporosis atau gangguan remodeling. Pada trauma kompresi, tulang trabekular dapat mengalami pemadatan, impaksi, atau depresi sebelum korteks di sekitarnya mengalami kegagalan. Respons ini terutama relevan pada femur proksimal, plateau tibia, plafond tibia, talus, dan kalkaneus.

Permukaan luar tulang, kecuali daerah yang dilapisi kartilago artikular, diselubungi oleh periosteum. Lapisan terdalam periosteum mengandung sel yang memiliki potensi osteogenik, sedangkan permukaan dalam korteks, kanalis medularis, dan trabekula dilapisi oleh endosteum. Tulang kortikal tersusun atas osteon yang mengelilingi kanalis

Havers dan berhubungan melalui kanalis Volkmann. Susunan tersebut membentuk jaringan vaskular antara sirkulasi medular dan periosteal. Sirkulasi endosteal terutama menyuplai bagian dalam korteks, sedangkan pembuluh periosteal memberikan kontribusi pada lapisan korteks bagian luar dan dapat menjadi lebih penting ketika sirkulasi medular terganggu.

Arsitektur tulang bersifat dinamis. Osteoblas, osteosit, dan osteoklas mempertahankan struktur melalui proses pembentukan, resorpsi, dan remodeling. Osteosit berperan sebagai mekanosensor yang membantu menghubungkan perubahan lingkungan mekanis dengan aktivitas pembentukan dan resorpsi tulang. Remodeling mengganti tulang lama, memperbaiki kerusakan mikro, dan menyesuaikan arsitektur internal terhadap tuntutan fungsi. Apabila akumulasi kerusakan mikro berlangsung lebih cepat daripada kemampuan remodeling, tulang menjadi rentan mengalami fraktur stres.

- a. Femur (Tulang Paha): Merupakan tulang terpanjang pada tubuh manusia. Femur terdiri atas ujung proksimal (kaput, kolum, serta trokanter mayor dan minor), korpus (shaft), dan ujung distal (kondilus medial dan lateral). Desain melengkung halus ke arah anterior pada korpus femur berfungsi menyebarkan beban mekanis vertikal. Kolum femur merupakan area transisi anatomi yang penting, terutama pada populasi geriatri dengan osteoporosis. Pada fraktur intrakapsular, lokasi ini memiliki nilai klinis khusus karena cedera dapat mengganggu suplai darah kaput femur dan meningkatkan risiko nekrosis avaskular (*avascular necrosis*).
- b. Patella (Tempurung Lutut): Patella merupakan tulang sesamoid terbesar dan berada di dalam mekanisme ekstensor lutut. Basis patella berhubungan dengan tendon kuadrisep, sedangkan apeksnya berlanjut dengan ligamentum patella menuju tuberositas tibia. Permukaan posterior patella dilapisi kartilago artikular dan

berartikulasi dengan troklear femur. Posisi patella menjauhkan tendon kuadrisep dari pusat rotasi lutut sehingga meningkatkan lengan momen dan efisiensi ekstensi.

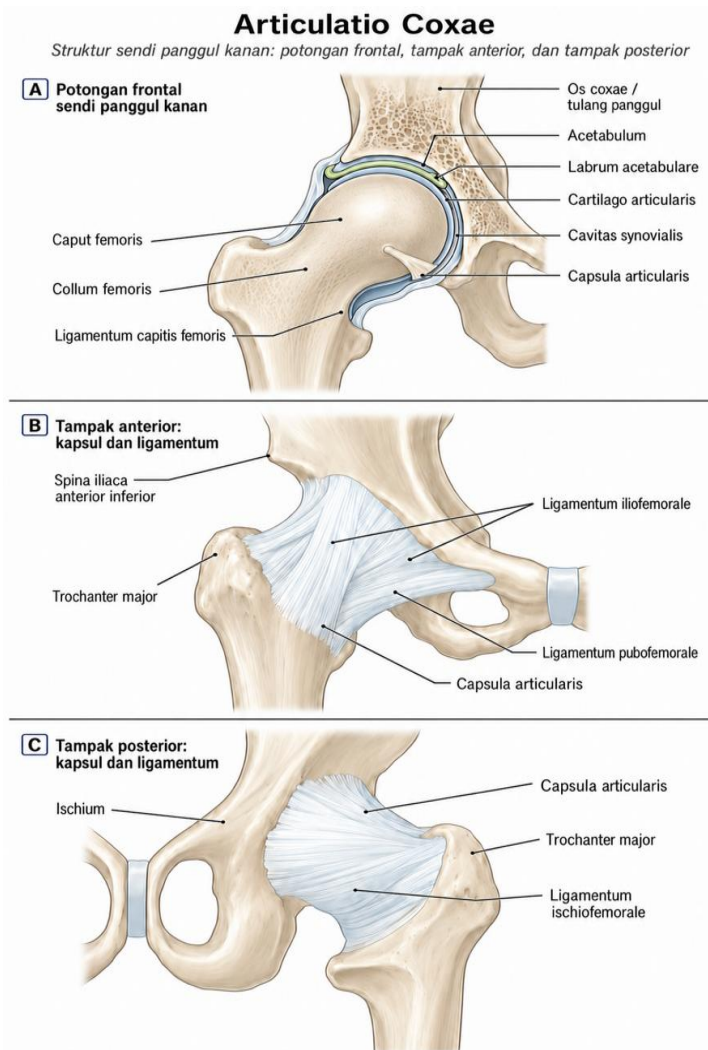
- c. Tibia dan Fibula (Tungkai Bawah): Korpus tibia (tulang kering) bertindak sebagai jalur utama penyaluran beban mekanis antara lutut dan pergelangan kaki. Sisi anteromedial tibia sangat superfisial karena hanya dilapisi kulit dan jaringan subkutan tanpa bantalan otot, yang menyebabkan tingginya insiden fraktur terbuka (open fracture) pada area ini. Di sisi lateral, terdapat fibula yang berperan sebagai tempat perlekatan otot, komponen stabilitas lateral pergelangan kaki, serta bagian dari kompleks tibiofibular distal. Walaupun bukan penopang beban utama seperti tibia, integritas fibula dan syndesmosis distal penting untuk mempertahankan stabilitas mortise pergelangan kaki (ankle mortise) dan transmisi beban saat berjalan.
- d. Talus, Kalkaneus, dan tulang pedis (*bone of the foot*) : Talus menerima beban dari plafond tibia dan meneruskannya menuju kalkaneus serta bagian tengah kaki. Tulang ini terdiri atas korpus, kolum, dan kaput, dengan sebagian besar permukaannya berhubungan dengan sendi talokrural, subtalar, dan talonavikular. Talus tidak memiliki perlekatan otot langsung, sedangkan pembuluh darahnya memasuki tulang melalui beberapa daerah terbatas. Fraktur talus yang disertai pergeseran atau dislokasi dapat mengganggu suplai darah dan meningkatkan risiko osteonekrosis. Kalkaneus merupakan tulang tarsal terbesar dan membentuk penopang utama tumit. Bagian superiornya berartikulasi dengan talus melalui faset subtalar, sedangkan tuberositas posterior menjadi tempat perlekatan tendon Achilles. Kalkaneus menerima gaya aksial dari talus dan gaya tarik dari tendon Achilles. Pada jatuh dari ketinggian, pembebanan aksial dapat menyebabkan impaksi faset posterior,

pelebaran kalkaneus, dan penurunan tinggi tumit. Perubahan bentuk tersebut dapat mengganggu sendi subtalar, fungsi tendon Achilles, dan mekanika berjalan. Kerangka kaki tersusun atas tujuh tulang tarsal, lima metatarsal, dan empat belas falang.

Secara fungsional, kaki dibagi menjadi hindfoot, midfoot, dan forefoot. Hubungan antartulang bersama ligamen, fascia plantaris, dan aktivitas otot membentuk arkus longitudinal serta transversal. Struktur ini memungkinkan kaki beradaptasi terhadap permukaan pada awal fase tumpuan dan menjadi lebih kaku ketika menghasilkan gaya dorong.

2. Kompleks Artikulasi (Persendian) Utama

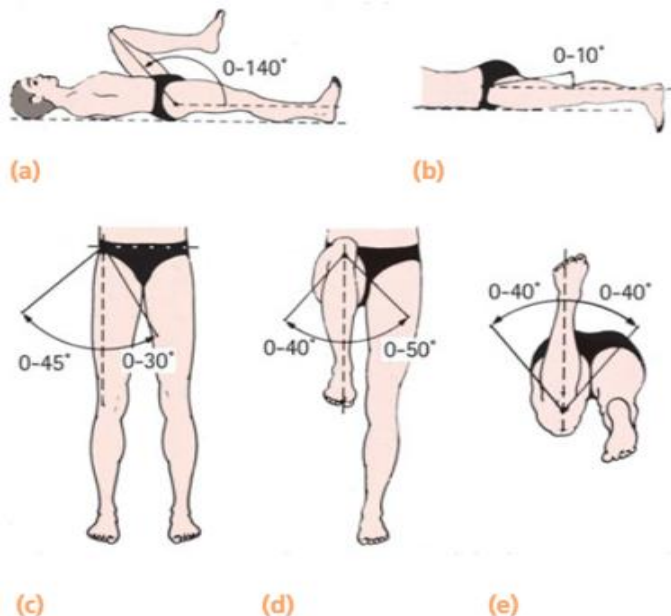
Stabilitas ekstremitas bawah didukung oleh tiga kompleks sendi sinovial besar yang bekerja secara sinergis dalam rantai kinetik:



Gambar 2.2 A. Potongan Frontal Articulatio Coxae Kanan. B. Kompleks Kapsuloligamenter Anterior. C. Kompleks Kapsuloligamenter Posterior.

- a. *Articulatio Coxae* (hip joint/Sendi Panggul): Sendi panggul merupakan sendi sinovial tipe bola dan mangkuk (*ball-and-socket joint*) yang mempertemukan kaput femur dengan asetabulum. Konfigurasi ini memungkinkan gerakan multiaxial berupa fleksi, ekstensi, abduksi,

adduksi, rotasi internal, dan rotasi eksternal. Stabilitas statis sendi dipertahankan oleh kedalaman asetabulum, labrum asetabular, kapsul, serta ligamentum iliofemoral, pubofemoral, dan ischiofemoral. Stabilitas dinamis diberikan oleh otot-otot di sekitar panggul yang menjaga posisi kaput femur selama pergerakan dan pembebanan. Kongruensi kaput femur dengan asetabulum memungkinkan beban dari pelvis didistribusikan menuju femur proksimal.

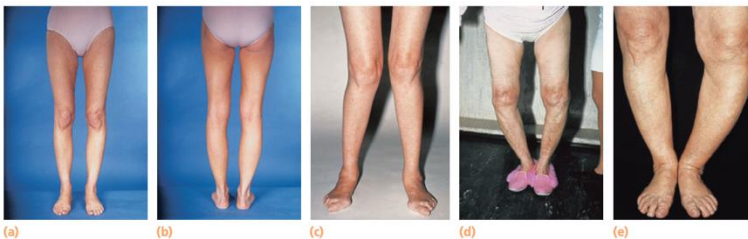
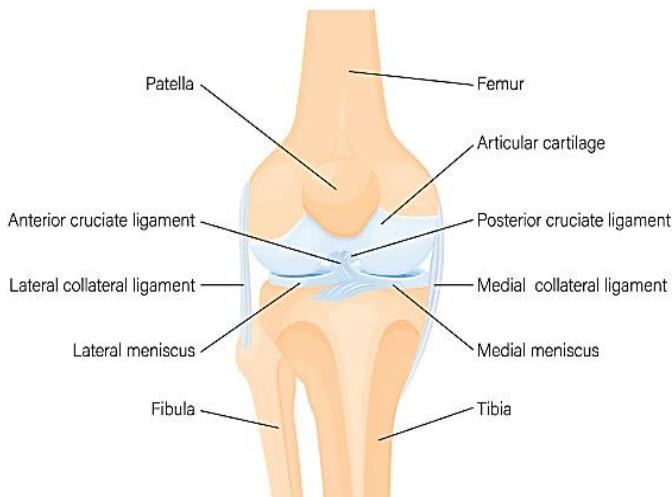


Gambar 2.3 ROM hip (a) Fleksi: paha mendekati abdomen. (b) Ekstensi: hanya beberapa derajat.(c) Abduksi: umumnya lebih besar daripada adduksi.(d-e) Rotasi internal eksternal: bervariasi tergantung posisi panggul saat fleksi atau ekstensi.

- b. *Articulatio Genu* (Sendi Lutut): Berbeda dengan sendi panggul, sendi lutut merupakan sendi engsel termodifikasi yang mempertemukan kondilus femur dengan plateau tibia dan memungkinkan gerakan fleksi-ekstensi disertai rotasi terbatas. Oleh karena itu, stabilitas

mekanis sendi lutut sangat bergantung pada elemen jaringan lunak, termasuk meniskus medial dan lateral sebagai peredam beban (*shock absorber*), serta ligamentum krusiatum (ACL dan PCL) dan ligamentum kolateral (MCL dan LCL). Di bagian anterior, terdapat patella (tulang sesamoid terbesar) yang tertanam di dalam tendon kuadrisep untuk meningkatkan efisiensi mekanis ekstensi lutut.

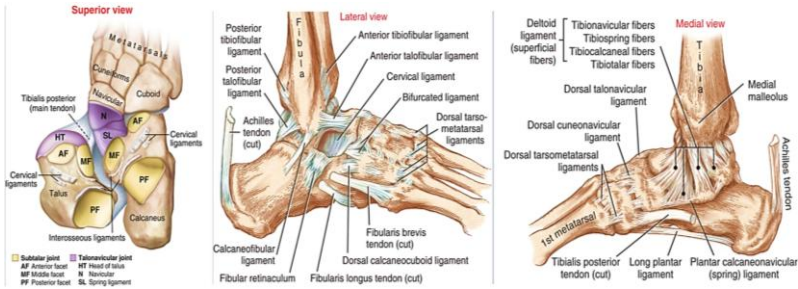
Knee Joint Structure



Gambar 2.4 Kompleksitas Jaringan Lunak dan Struktur Artikular pada Articulatio Genu(a) Alignment normal – tampak anterior: terdapat valgus fisiologis ringan pada lutut dengan aksis tungkai relatif simetris.(b) Alignment normal – tampak posterior: menunjukkan kesejajaran femur-tibia dan posisi hindfoot dari belakang.(c) Genu valgum (knock-knee): kedua lutut cenderung

mendekat, sedangkan pergelangan kaki tetap berjauhan.(d) Genu varum (bow-leg): kedua pergelangan kaki mendekat, sedangkan lutut tetap berjauhan.

- 1) Secara biomekanik, sendi lutut bekerja sebagai struktur penopang beban yang harus mempertahankan stabilitas saat berdiri, berjalan, berlari, dan naik-turun tangga. Pada posisi ekstensi, terjadi mekanisme *screw-home*, yaitu rotasi terminal tibia terhadap femur yang membantu mengunci lutut secara pasif dan meningkatkan efisiensi berdiri. Mekanisme ini membuat lutut stabil saat menopang berat badan, tetapi tetap memungkinkan mobilitas tinggi ketika masuk fase fleksi.
- 2) Keunikan anatomi lutut juga terletak pada pembagian kompartemen medial, lateral, dan patellofemoral. Kompartemen medial cenderung menerima beban lebih besar saat *weight-bearing*, sedangkan kompartemen lateral berperan penting dalam adaptasi terhadap gaya rotasi dan translasi. Sementara itu, kompartemen patellofemoral berfungsi mengoptimalkan arah tarikan quadriceps dan menjaga tracking patella selama fleksi-ekstensi lutut.
- 3) Dalam konteks fraktur ekstremitas bawah, pemahaman anatomi lutut penting karena fraktur distal femur, patella, dan tibial plateau dapat mengganggu kongruensi artikular, alignment mekanik, serta fungsi ekstensor. Gangguan kecil pada permukaan sendi atau stabilitas jaringan lunak dapat berdampak besar terhadap distribusi beban, range of motion, nyeri kronis, dan risiko osteoarthritis pascatrauma.



Gambar 2.5 Ilustrasi Anatomi Ligamentum Articulationis Talocruralis dan Regio Tarsalis pada Proyeksi Superior, Lateral, dan Medial

- c. *Articulatio Talocruralis* (Sendi Pergelangan Kaki): Sendi talokrural merupakan sendi sinovial tipe engsel yang dibentuk oleh plafond tibia, malleolus medial, malleolus lateral, dan troklear talus. Tibia dan fibula distal membentuk mortise yang mengelilingi talus dan terutama memungkinkan dorsofleksi serta plantarfleksi. Troklear talus lebih lebar di bagian anterior sehingga hubungan tulang di dalam mortise menjadi lebih stabil saat dorsofleksi. Stabilitas juga dipertahankan oleh ligamentum deltoideum, kompleks ligamen lateral, dan sindesmosis tibiofibular distal.

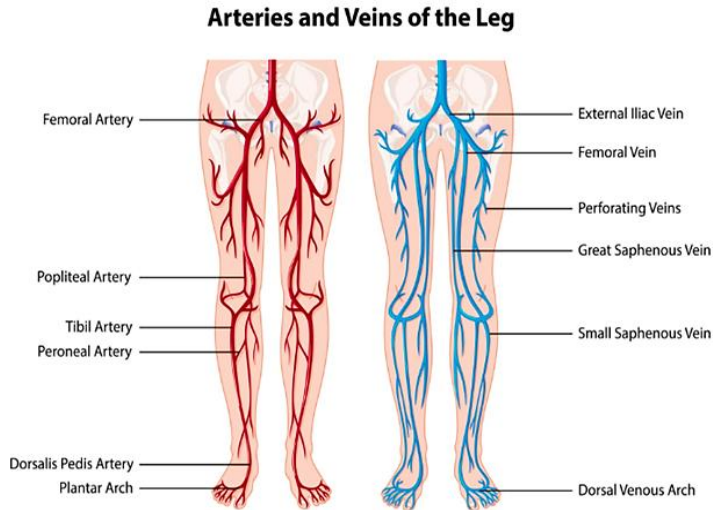
B. Vaskularisasi dan Persarafan Klinis

Integritas sistem vaskular dan neurologis merupakan salah satu penentu viabilitas ekstremitas dan pemulihan fungsi setelah fraktur. Pembuluh darah dan saraf dapat mengalami cedera akibat trauma langsung, pergeseran fragmen atau sendi, peregangan, kompresi oleh hematoma dan edema, maupun peningkatan tekanan intrakompartmental.

Cedera vaskular dapat menyebabkan perdarahan atau iskemia, sedangkan cedera saraf dapat menimbulkan gangguan motorik dan sensorik. Keterlambatan mengenali gangguan tersebut dapat menyebabkan nekrosis jaringan, sindrom kompartemen, kehilangan fungsi, dan pada keadaan tertentu kehilangan ekstremitas.

1. Sistem Vaskularisasi Arterial Ekstremitas Bawah

Suplai darah ke anggota gerak bawah berpusat pada percabangan aorta abdominalis yang berlanjut menjadi arteri iliaka komunis, kemudian menjadi arteri iliaka eksterna. Begitu melewati ligamentum inguinale, pembuluh darah ini berganti nama menjadi arteri femoralis, yang bertindak sebagai jalur vaskular utama di regio paha.



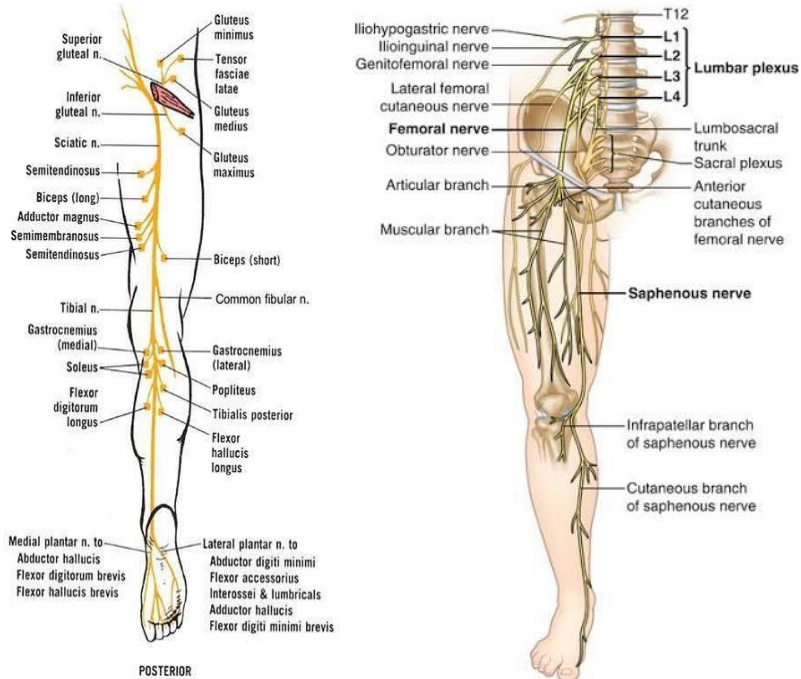
Gambar 2.6 Jalur Utama Vaskularisasi Arterial pada Anggota Gerak Bawah

- a. *Arteri Femoralis* dan *Profunda Femoris*: Menyuplai oksigen dan nutrisi untuk otot-otot paha dan korpus femur. Pada kasus fraktur korpus femur (*shaft femur*), robekan pada cabang-cabang arteri ini dapat memicu perdarahan masif tersembunyi (*occult bleeding*) di dalam kompartemen paha, yang dapat bermakna secara hemodinamik. Perkiraan klinis yang sering dikutip berada pada kisaran sekitar satu hingga satu setengah liter, tetapi jumlah aktual sangat bervariasi dan tidak dapat ditentukan dari pola fraktur saja, sehingga penilaian tetap berdasarkan tanda vital, status perfusi, dan pemeriksaan serial.

- b. *Arteri Poplitea*: Saat melewati adductor hiatus, arteri femoralis masuk ke dalam fosa poplitea di belakang sendi lutut menjadi arteri poplitea. Letaknya yang terfiksasi erat pada kapsul sendi posterior membuat arteri ini sangat rentan mengalami cedera robekan (transection) atau sumbatan (occlusion) akibat dislokasi lutut atau fraktur distal femur. Keterlambatan rekonstruksi vaskular di area ini dalam waktu 6 hingga 8 jam dapat berujung pada amputasi tungkai bawah.
- c. *Arteri Tibialis Anterior dan Posterior*: Di batas bawah otot popliteus, arteri poplitea bercabang menjadi arteri tibialis anterior (menyuplai kompartemen anterior tungkai bawah) dan arteri tibialis posterior beserta cabang peronealnya (menyuplai kompartemen posterior dan lateral). Pembuluh darah ini rentan terjepit pada fraktur kruris (tibia-fibula), yang berisiko tinggi memicu terjadinya sindrom kompartemen akibat peningkatan tekanan intramuskular yang menghambat perfusi kapiler.

2. Persarafan Klinis (Inervasi Neurologis)

Sistem persarafan ekstremitas bawah berasal dari pleksus lumbalis (L1-L4) dan pleksus sakralis (L4-S4). Struktur neurologis terbesar dan paling signifikan secara klinis di wilayah ini adalah nervus iskiadikus (*sciatic nerve*).



Gambar 2.7 Jalur Anatomi Nervus pada Extremitas Bawah dan Distribusi Inervasi Klinis (Anterior & Posterior)

- Nervus Iskiadikus: Saraf ini berjalan di sepanjang kompartemen posterior paha. Sebelum mencapai fosa poplitea, nervus iskiadikus bercabang menjadi dua komponen utama: nervus tibialis dan nervus fibularis komunis (common peroneal nerve).
- Nervus Fibularis Komunis: Saraf ini berjalan melingkari leher tulang fibula (collum fibulae) secara sangat superfisial. Posisi anatomis yang terekspos ini membuat nervus fibularis komunis menjadi saraf yang paling sering mengalami cedera pada ekstremitas bawah. Fraktur proksimal fibula atau penekanan gips yang terlalu ketat pada area ini dapat menyebabkan neuropati kompresi. Manifestasi klinis dari cedera saraf ini adalah hilangnya kemampuan dorsofleksi pergelangan kaki, yang dikenal sebagai fenomena drop foot (kaki terkulai).

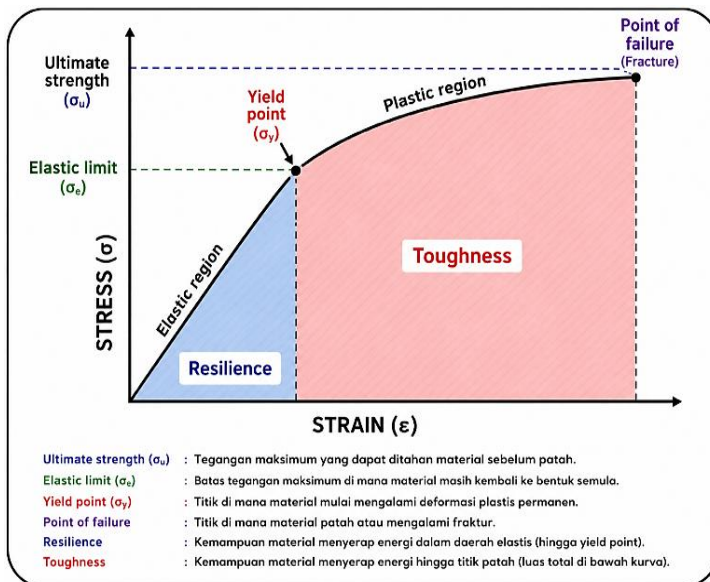
- c. Nervus Tibialis: Berjalan di dalam kompartemen posterior dalam tungkai bawah dan menyuplai otot-otot plantar fleksi kaki serta sensorik telapak kaki. Saraf ini berisiko cedera pada kasus fraktur tibia posterior atau fraktur dislokasi pergelangan kaki yang berat.

C. Kinetika dan Biomekanika Cedera

Mekanisme terjadinya patah tulang pada anggota gerak bawah dikendalikan oleh prinsip-prinsip fisika mekanika materi. Tulang memiliki sifat viskoelastik, yang berarti kekakuan dan kekuatannya berubah tergantung pada kecepatan dan besarnya gaya eksternal yang diterima. Kegagalan struktural tulang terjadi ketika gaya mekanis eksternal melebihi batas toleransi elastisitas dan plastisitas jaringan ikat matriks tulang.

1. Kurva Tegangan-Regangan (*Stress-Strain Curve*)

Jaringan Tulang Secara biomekanis, respons tulang terhadap beban mekanis digambarkan melalui hubungan antara tegangan (stress atau beban internal per satuan luas) dan regangan (strain atau derajat deformasi fisik).



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik Mekanis Tulang Terhadap Beban Mekanis

- a. Fase Elastis (*Elastic Region*): Ketika tulang menerima beban normal, tulang akan mengalami sedikit deformasi temporer. Jika beban dihilangkan, struktur geometri tulang akan kembali ke bentuk semula.
- b. Titik Luluh (*Yield Point*): Batas akhir toleransi elastis tulang. Beban yang melewati titik ini akan memaksa tulang masuk ke fase plastik.
- c. Fase Plastik (*Plastic Region*): Pada fase ini, struktur mikroarsitektur tulang mengalami kerusakan permanen yang tidak dapat pulih kembali walaupun beban eksternal telah dihilangkan.
- d. Titik Patah (*Point of Failure*): Jika beban mekanis terus meningkat melampaui batas deformasi plastik maksimal (*ultimate strength*), maka akan terjadi diskontinuitas struktural yang nyata berupa garis fraktur.

2. Jenis Beban Mekanis dan Pola Garis Fraktur

Bentuk fisik dan morfologi garis patahan pada tulang panjang ekstremitas bawah sangat dipengaruhi oleh arah gaya eksternal yang mengenainya:

- a. Beban Aksial Kompresi (*Compression*): Gaya tekan vertikal di sepanjang sumbu panjang tulang. Mekanisme ini sering dijumpai pada kasus jatuh dari ketinggian dengan posisi tumit atau kaki mendarat terlebih dahulu. Beban ini biasanya memicu fraktur impaksi, fraktur kominutif, atau kerusakan pada dataran tinggi sendi (*tibial plateau*).
- b. Beban Tarik (*Tension*): Gaya tarik yang berlawanan arah dengan sumbu tulang. Kondisi ini sering menghasilkan fraktur avulsi, di mana fragmen tulang tertarik lepas oleh kontraksi tendon otot yang sangat kuat, seperti avulsi pada patella atau tuberositas tibia.
- c. Beban Tekuk (*Bending*): Gaya tegak lurus yang mengenai bagian tengah korpus tulang, memicu kompresi di satu sisi dan tarikan di sisi berlawanan. Pola ini menghasilkan garis fraktur transversal atau fraktur dengan fragmen berbentuk segitiga (*butterfly fragment*).

- d. **Beban Puntir (*Torsion*):** Gaya rotasi transversal melingkari sumbu panjang tulang, yang umumnya terjadi ketika kaki terfiksasi kuat di tanah sementara tubuh berputar mendadak. Mekanisme ini cenderung menghasilkan pola fraktur spiral pada tibia atau femur, meskipun morfologi akhir tetap bergantung pada kualitas tulang, besar dan kecepatan gaya, serta posisi ekstremitas saat trauma.

3. Kinetika Energi Trauma dan Pola Benturan

Besarnya energi kinetik ($EK = \frac{1}{2} mv^2$) yang ditransfer ke ekstremitas bawah saat kecelakaan menentukan tingkat kerusakan klinis jaringan sekitar.

BAB 3

KLASIFIKASI DAN PATOFISIOLOGI FRAKTUR

Bab ini menjembatani dua hal yang dalam praktik selalu berjalan bersamaan: proses biologis penyembuhan dan pengelompokan morfologis fraktur. Pembahasan mencakup patofisiologi kerusakan tulang dan jaringan lunak, mulai dari pembentukan hematoma sampai remodeling, dilanjutkan dengan sistem klasifikasi AO/OTA serta perbedaan fraktur terbuka dan tertutup dengan sistem Gustilo-Anderson.

Dua penegasan perlu dipegang sejak awal. Pertama, cedera jaringan lunak di sekitar tulang sering lebih menentukan luaran daripada gambaran garis patahan pada radiografi. Kedua, sistem klasifikasi berfungsi sebagai alat komunikasi dan perencanaan, bukan penentu otomatis pilihan implan. Dengan kerangka tersebut, bab selanjutnya menelusuri fraktur ekstremitas bawah lokasi demi lokasi.

A. Patofisiologi Kerusakan Tulang dan Jaringan Lunak

Fraktur merupakan hilangnya kontinuitas struktural tulang, mulai dari retakan sebagian hingga terpisahnya tulang menjadi dua atau lebih fragmen. Berdasarkan penyebabnya, fraktur dapat terjadi akibat trauma akut, pembebanan berulang, atau kelemahan tulang yang telah ada sebelumnya. Apley membedakan ketiga mekanisme tersebut menjadi fraktur akibat cedera, fraktur stres, dan fraktur patologis.

Fraktur traumatik terjadi ketika suatu gaya akut, baik langsung maupun tidak langsung, melampaui kekuatan struktural tulang. Gaya langsung umumnya menyebabkan fraktur di lokasi benturan dan dapat disertai kerusakan jaringan lunak pada tempat yang sama. Sebaliknya, gaya tidak langsung dapat menghasilkan fraktur pada lokasi yang berbeda dari tempat gaya pertama kali bekerja. Bentuk patahan dipengaruhi oleh besar, arah, kecepatan, dan lama pembebanan, serta geometri dan kualitas tulang. Oleh karena itu, pola fraktur tidak dapat digunakan sendirian untuk menentukan energi trauma.

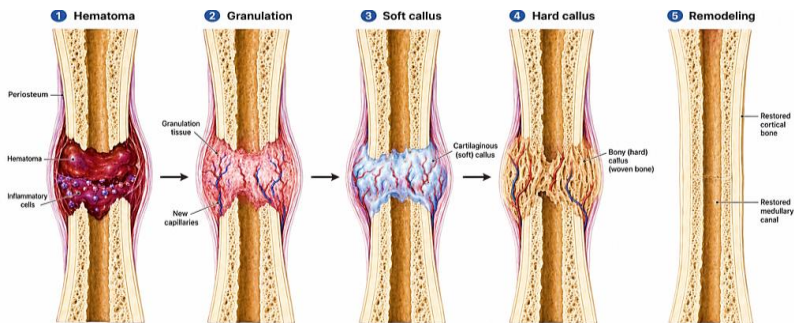
Fraktur stres terjadi akibat pembebanan berulang yang tidak cukup besar untuk mematahkan tulang dalam satu kejadian, tetapi menyebabkan akumulasi kerusakan mikro ketika proses resorpsi berlangsung lebih cepat daripada pembentukan tulang baru. Fraktur kelelahan (fatigue fracture) terjadi akibat beban berulang berlebihan pada tulang normal, sedangkan fraktur insufisiensi (insufficiency fracture) terjadi akibat beban fisiologis pada tulang yang kekuatannya telah menurun. (Solomon dkk., 2018). (NICE, 2016a)

Fraktur patologis terjadi pada tulang yang telah melemah akibat penyakit, seperti osteoporosis, gangguan mineralisasi, infeksi, tumor tulang, atau metastasis. Fraktur dapat terjadi spontan maupun setelah trauma ringan yang tidak akan mematahkan tulang normal. Fraktur fragilitas akibat osteoporosis merupakan fraktur akut berenergi rendah, tetapi tidak selalu merupakan fraktur stres karena dapat terjadi melalui satu peristiwa trauma, misalnya jatuh dari posisi berdiri.

1. Kerusakan Struktural Tulang dan Kerusakan Pembuluh Darah

Ketika gaya trauma melampaui batas elastisitas matriks tulang, terjadi kegagalan mekanis yang memicu patah tulang. Energi trauma tersebut seketika merobek pembuluh darah intraoseus, endosteal, periosteal, dan jaringan lunak di sekitar fraktur. Putusnya jalur vaskular ini menyebabkan perdarahan lokal di sekitar ujung-ujung fragmen patahan.

Perdarahan kemudian membentuk hematoma di dalam dan di sekitar celah fraktur dalam waktu beberapa jam pertama. Hematoma ini bukan sekadar gumpalan darah statis, melainkan sebuah lingkungan biologis aktif yang kaya akan sitokin inflamasi seperti *Transforming Growth Factor-Beta (TGF-beta)* dan *Bone Morphogenetic Proteins (BMPs)*. Di saat yang sama, karena suplai darah terputus, osteosit di sekitar permukaan fraktur yang kehilangan perfusi dapat mengalami nekrosis. Area nekrosis tulang terlokalisasi ini nantinya akan diresorpsi oleh sel osteoklas pada fase penyembuhan berikutnya.



Gambar 3.1 Proses Patofisiologis Awal Pembentukan Hematoma dan Regenerasi Tulang Pasca-Fraktur

2. Cedera Jaringan Lunak Penyerta (Soft Tissue Injury)

Kerusakan jaringan lunak di sekitar lokasi fraktur ekstremitas bawah ditentukan oleh besarnya transfer energi kinetik eksternal dan pergeseran fragmen tajam tulang dari dalam tubuh (*injury from within*). Otot-otot besar di sekitar femur dan tibia dapat mengalami kontusio (memar masif), laserasi (robekan), atau avulsi total dari tempat perlekatannya. Kerusakan periosteum menjadi salah satu indikator klinis paling kritis. Periosteum mengandung lapisan kambium yang kaya akan sel progenitor osteoblastik (sel pembentuk tulang) dan menyuplai vaskularisasi korteks bagian luar, terutama ketika sirkulasi medular terganggu. Pada fraktur kominutif berenergi tinggi, periosteum sering kali terkelupas secara sirkumferensial. Kehilangan selubung

periosteum ini secara drastis menurunkan kapasitas osteogenesis alami tulang, meningkatkan risiko infeksi, dan memperlambat penyatuan kembali fragmen tulang (*delayed union*).

3. Proses Penyembuhan Fraktur

Tulang merupakan jaringan hidup yang mampu mengalami regenerasi. Dalam keadaan biologis dan mekanis yang mendukung, jaringan tulang yang mengalami fraktur dapat dipulihkan tanpa pembentukan jaringan parut permanen. Proses tersebut melibatkan hematoma, respons inflamasi, pembentukan pembuluh darah baru, perekrutan sel progenitor, pembentukan matriks tulang, konsolidasi, dan remodelasi.

Berdasarkan lingkungan mekanisnya, penyembuhan fraktur dibedakan menjadi penyembuhan sekunder melalui pembentukan kalus dan penyembuhan primer melalui penyatuan langsung. Istilah primer dan sekunder tidak menunjukkan urutan waktu, kualitas, atau tingkat keberhasilan. Keduanya merupakan pola penyembuhan yang berbeda.

Stabilitas relatif masih memungkinkan gerakan antarfragmen yang terkendali sehingga tubuh membentuk kalus sebagai penyangga biologis. Sebaliknya, stabilitas absolut menghasilkan gerakan antarfragmen yang sangat kecil sehingga tulang dapat terbentuk langsung tanpa kalus eksternal yang nyata.

Hubungan antara gerakan dan pembentukan jaringan dijelaskan melalui deformasi antarfragmen (interfragmentary strain), yaitu perubahan panjang celah fraktur saat menerima beban dibandingkan dengan panjang awal celah tersebut. Jaringan granulasi dan jaringan fibrosa dapat menoleransi deformasi lebih besar daripada kartilago, sedangkan pembentukan tulang memerlukan deformasi yang lebih rendah. Karena itu, tulang tidak dapat langsung menjembatani celah yang masih mengalami deformasi besar.

Konsep deformasi antarfragmen tidak dapat dinilai terpisah dari besar celah, perfusi, dan kekakuan stabilisasi. Celah yang besar tetap memperpanjang jarak yang harus dijembatani dan dapat mengganggu penyatuan meskipun nilai deformasi relatifnya tampak lebih rendah.

Penyembuhan Sekunder melalui Pembentukan Kalus

Penyembuhan sekunder (secondary bone healing) disebut juga penyembuhan tidak langsung atau penyembuhan melalui kalus (healing by callus). Menurut Apley, pola ini merupakan bentuk penyembuhan alamiah yang paling sering terjadi pada fraktur tulang panjang. Penyembuhan berlangsung pada stabilitas relatif, ketika gerakan antarfragmen masih ada tetapi tetap terkendali.

Proses penyembuhan sekunder terdiri atas lima tahap yang saling tumpang tindih.

1. Kerusakan Jaringan dan Pembentukan Hematoma

Robekan pembuluh darah membentuk hematoma di dalam dan di sekitar celah fraktur. Sebagian tulang pada permukaan fragmen kehilangan perfusi dan mengalami nekrosis. Hematoma mengandung fibrin, trombosit, sel inflamasi, sitokin, dan faktor pertumbuhan yang membentuk lingkungan biologis awal penyembuhan.

2. Inflamasi dan Proliferasi Sel

Neutrofil dan makrofag bermigrasi menuju hematoma untuk membersihkan debris dan jaringan nekrotik. Pada fraktur tertutup yang tidak terkontaminasi, proses tersebut membersihkan debris steril, bukan bakteri. Makrofag juga mengatur angiogenesis dan perekrutan sel progenitor. Pembuluh kapiler baru tumbuh dari jaringan yang masih viabel menuju area fraktur. Sel progenitor yang berasal dari periosteum, endosteum, sumsum tulang, dan jaringan lunak sekitar kemudian bermigrasi ke lokasi fraktur. Hematoma secara bertahap digantikan oleh jaringan granulasi yang mengandung kapiler, fibroblas, matriks ekstraseluler, dan sel mesenkimal

3. Pembentukan Kalus

Sel mesenkimal berdiferensiasi menjadi fibroblas, kondroblas, atau osteoblas sesuai dengan vaskularisasi, suplai oksigen, dan keadaan mekanis setempat. Jaringan granulasi kemudian digantikan oleh jaringan fibrosa dan fibrokartilago yang membentuk kalus lunak (soft callus). Kalus lunak menghubungkan fragmen dan mengurangi gerakan antarfragmen, tetapi belum memiliki kekuatan untuk menerima pembebanan fisiologis penuh. Kalus tersebut juga belum selalu tampak jelas pada radiografi.

Pada area dengan vaskularisasi baik dan deformasi rendah, tulang dapat dibentuk melalui osifikasi intramembranosa. Pada area dengan suplai oksigen lebih rendah dan deformasi lebih besar, kartilago terbentuk lebih dahulu, kemudian mengalami kalsifikasi dan digantikan oleh tulang melalui osifikasi endokondral. Kedua mekanisme tersebut dapat terjadi bersamaan pada bagian kalus yang berbeda. (Buckley dkk., 2018)

Ketika kartilago terkalsifikasi digantikan oleh tulang anyaman (woven bone), kalus lunak berubah menjadi kalus keras (hard callus). Kalus keras membentuk jembatan tulang antara fragmen sehingga kekakuan meningkat dan gerakan antarfragmen berkurang.

4. Konsolidasi

Pada fase konsolidasi, aktivitas osteoklas dan osteoblas mengganti tulang anyaman dengan tulang lamelar yang lebih terorganisasi. Jembatan tulang menjadi semakin matang, garis fraktur berangsur kurang jelas, dan trabekula mulai melintasi area fraktur.

Penyatuan (union) menunjukkan bahwa fragmen telah terhubung dan bergerak sebagai satu kesatuan, tetapi proses reparasi belum selesai. Konsolidasi menunjukkan maturasi lebih lanjut dengan osifikasi kalus dan terbentuknya kontinuitas trabekular yang lebih kuat. Kehadiran kalus pada radiografi tidak otomatis menunjukkan bahwa tulang telah mampu menerima pembebanan penuh.

5. Remodeling

Setelah kontinuitas tulang terbentuk, tulang anyaman dan kalus yang berlebihan mengalami remodelasi. Osteoklas meresorpsi tulang yang tidak diperlukan, sedangkan osteoblas membentuk tulang lamelar baru. Korteks dan rongga medular secara bertahap dibentuk kembali. Remodelasi berlangsung selama berbulan-bulan hingga bertahun-tahun.

Proses tersebut berkaitan dengan Hukum Wolff, yaitu prinsip bahwa massa dan arsitektur tulang beradaptasi terhadap pola pembebanan mekanis yang diterimanya. Rangsangan mekanis dideteksi terutama oleh osteosit melalui deformasi matriks dan pergerakan cairan di dalam jaringan kanalikuli. Sinyal tersebut mengatur aktivitas osteoblas dan osteoklas sehingga tulang diperkuat pada area yang menerima tegangan dan diresorpsi pada area yang tidak lagi diperlukan. (Solomon dkk., 2018)

Hukum Wolff terutama menjelaskan adaptasi tulang selama maturasi dan remodelasi, bukan pembentukan hematoma atau kalus awal. Hukum ini tidak berarti bahwa pembebanan penuh atau gerakan berlebihan selalu mempercepat penyembuhan. Gerakan yang berlebihan dapat merusak kapiler baru, mempertahankan jaringan fibrosa, dan menghambat terbentuknya jembatan tulang.

Kalus yang banyak juga tidak selalu menunjukkan penyembuhan berhasil. Pada nonunion hipertrofik, aktivitas biologis dan pembentukan kalus tetap berlangsung, tetapi penyatuan gagal karena stabilitas mekanis tidak memadai.

Penyembuhan Primer melalui Penyatuan Langsung

Penyembuhan primer (primary bone healing) disebut juga penyembuhan langsung atau penyatuan langsung (direct union). Pola ini terjadi ketika permukaan fraktur dipertahankan dengan celah sangat kecil dan gerakan antarfragmen minimal. Keadaan tersebut disebut stabilitas absolut.

Setiap fraktur tetap menimbulkan kerusakan jaringan dan respons inflamasi awal. Perbedaannya, pada penyembuhan primer tubuh tidak memerlukan kalus fibrokartilaginosa sebagai penyangga karena stabilitas mekanis telah tercapai. Penyatuan berlangsung melalui pembentukan tulang langsung dan remodelasi osteonal. Kalus periosteal biasanya minimal atau tidak terlihat.

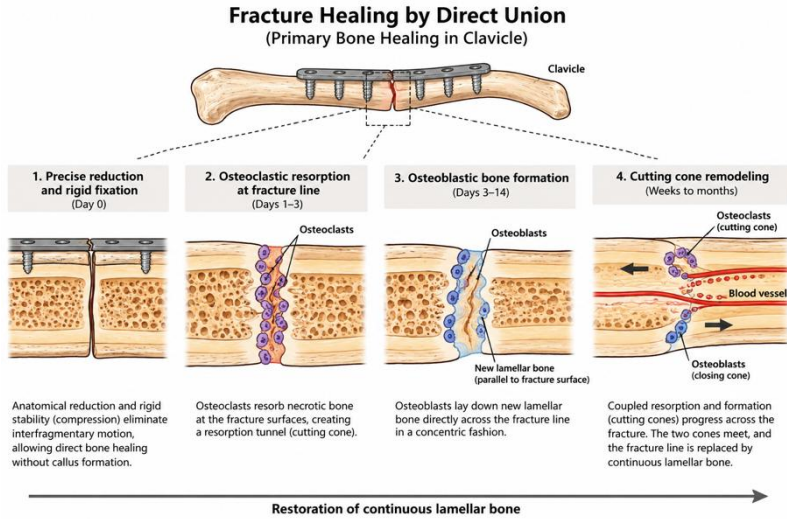
Penyembuhan primer dapat berlangsung melalui penyatuan kontak dan penyatuan celah.

Pada penyatuan kontak (contact healing), permukaan korteks kedua fragmen saling berhadapan secara langsung dan dipertahankan dalam keadaan stabil. Osteoklas membentuk kerucut pemotong (cutting cone) yang melintasi garis fraktur. Pembuluh darah dan sel osteoprogenitor mengikuti saluran tersebut, kemudian osteoblas membentuk tulang lamelar dan osteon baru. Kontinuitas korteks dipulihkan tanpa kalus eksternal yang nyata.

Pada penyatuan celah (gap healing), stabilitas absolut telah tercapai, tetapi masih terdapat celah kecil di antara permukaan fraktur. Kapiler dan sel osteoprogenitor tumbuh ke dalam celah tersebut. Apley menjelaskan bahwa celah yang sangat sempit, kurang dari sekitar 200 mikrometer, dapat diisi langsung oleh tulang lamelar. Pada celah yang lebih lebar tetapi tetap stabil, tulang anyaman terbentuk terlebih dahulu, kemudian digantikan oleh tulang lamelar. Nilai tersebut merupakan gambaran histologis dan bukan batas yang dapat digunakan sebagai target radiografis atau ukuran operasi.

Cedera stres tulang tahap awal dapat pulih melalui remodelasi tanpa pembentukan kalus yang nyata. Apabila fraktur stres berkembang menjadi kerusakan korteks yang lengkap, penyembuhannya mengikuti prinsip mekanis yang sama.

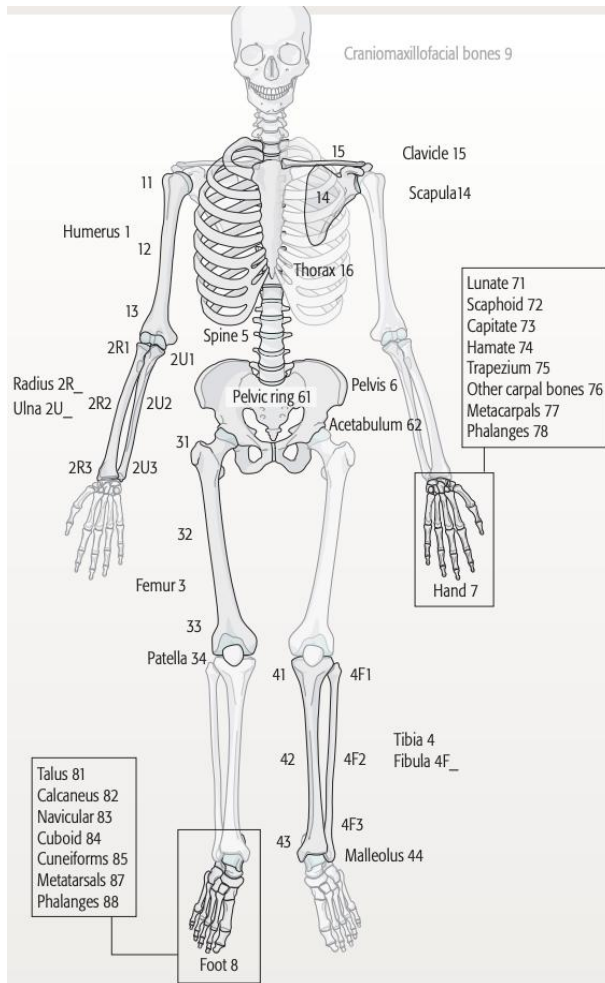
Fraktur patologis juga dapat mengalami penyembuhan primer atau sekunder, tetapi potensinya dipengaruhi oleh penyakit dasar, kualitas tulang, perfusi, infeksi, dan terapi yang diberikan.



Gambar 3.2 Penyembuhan Tulang melalui *Direct Union*

B. Sistem Klasifikasi Fraktur AO/OTA

Dalam pengobatan ortopedi modern, standardisasi bahasa komunikasi antar-klinisi sangat krusial untuk menentukan diagnosis, rencana tata laksana bedah, serta prognosis pasien. Sistem klasifikasi kontemporer yang paling diakui secara internasional adalah sistem AO/OTA (*Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Orthopaedic Trauma Association*). Klasifikasi ini menggunakan sistem pengkodean alfanumerik (huruf dan angka) yang logis berdasarkan lokasi anatomis tulang dan morfologi spesifik dari patahan tulang tersebut.



Gambar 3.3 Pembagian Regio Anatomi dan Kode Numerik AO/OTA pada Sistem Muskuloskeletal

1. Struktur Pengodean Lokasi (Dua Angka Pertama)

Sistem AO/OTA membagi identifikasi awal menjadi dua indikator numerik utama:

- Angka Pertama (Identifikasi Tulang): Setiap tulang panjang memiliki nomor kode khusus. Untuk ekstremitas bawah, Femur diberi kode angka 3, sedangkan Tibia dan Fibula digabungkan dalam kode angka 4.

- b. Angka Kedua (Identifikasi Segmen): Menentukan posisi fraktur di sepanjang bentang tulang tersebut. Segmen dibagi menjadi tiga area: 1 untuk Proksimal, 2 untuk Diafisis (tengah/korpus), dan 3 untuk Distal. Khusus untuk area pergelangan kaki, kode 4 digunakan untuk malleolus.

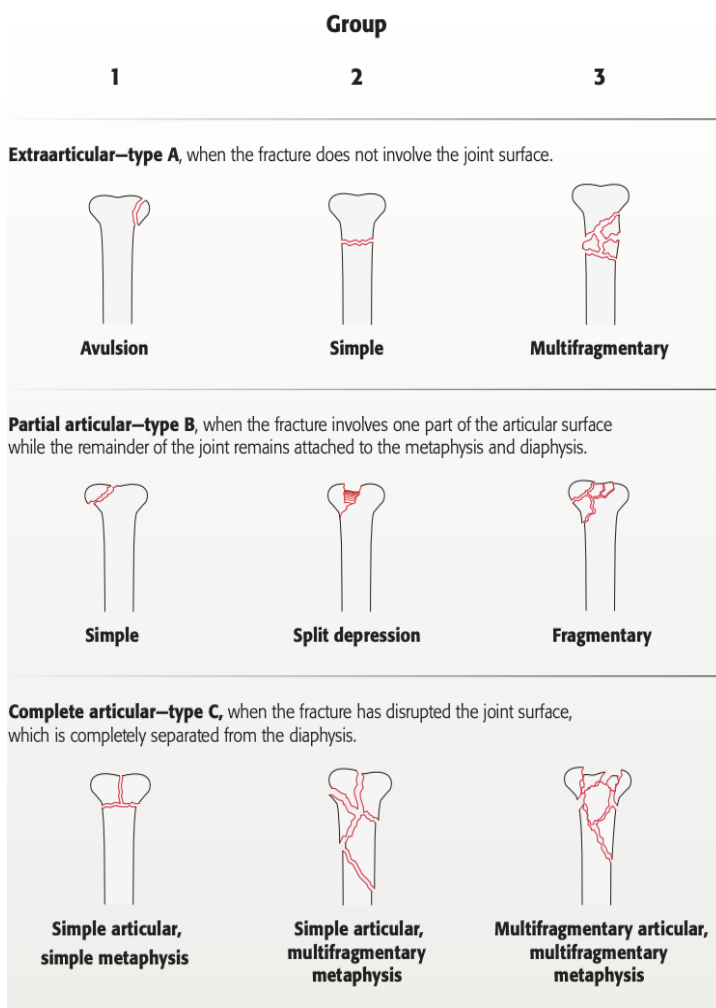
Contoh: Kode 32 menunjukkan fraktur berlokasi di area batang atau korpus (*shaft*) femur. Kode 41 menunjukkan fraktur berada di area proksimal tibia (seperti tibial plateau).

2. Struktur Pengodean Morfologi Patahan (Huruf dan Angka Ketiga)

Setelah lokasi anatomis ditentukan, karakteristik bentuk patahan dikelompokkan menggunakan huruf (A, B, atau C) yang mencerminkan tingkat kompleksitas mekanis dan tingkat keparahan cedera:

- a. Tipe A (Fraktur Sederhana / Simple Fracture): Garis patahan hanya satu dan menghasilkan dua fragmen tulang utama. Pada segmen diafisis, fraktur ini dapat berbentuk spiral (A1), oblik dengan sudut sekurang-kurangnya 30 derajat (A2), atau transversal dengan sudut kurang dari 30 derajat (A3).
- b. Tipe B (Fraktur Baji / Wedge Fracture): Garis patahan menghasilkan satu atau beberapa fragmen baji, tetapi setelah reduksi kedua fragmen utama masih saling bersentuhan.
- c. Tipe C (Fraktur Multifragmenter / Complex Multifragmentary): Garis patahan menghasilkan beberapa fragmen, dan setelah reduksi tidak terdapat kontak langsung antara kedua fragmen utama.
- d. Pembagian A, B, dan C di atas berlaku untuk segmen diafisis tulang panjang. Struktur tersebut tidak dapat digeneralisasi ke seluruh lokasi dalam sistem AO/OTA, karena arti huruf bergantung pada segmen anatomis yang diklasifikasikan. Pada segmen articular distal femur, misalnya, 33-A menunjukkan fraktur ekstraartikular, 33-B fraktur artikular parsial, dan 33-C fraktur artikular

komplet. Huruf A, B, dan C karena itu tidak boleh dibaca sebagai tingkat keparahan yang seragam, dan juga tidak menunjukkan besar energi trauma. Fraktur berenergi tinggi dapat menghasilkan pola sederhana, sebaliknya fraktur berenergi rendah pada tulang osteoporotik dapat menghasilkan pola multifragmenter.



Gambar 3.4 Makna Huruf A, B, dan C dalam AO/OTA Bergantung pada Segmen Anatomis yang Diklasifikasikan

3. Signifikansi Klinis dalam Manajemen Trauma

Penerapan sistem klasifikasi AO/OTA dalam rekam medis dan komunikasi antarklinisi membantu menggambarkan morfologi fraktur secara terstandarisasi serta mempermudah perencanaan dan pelaporan. Namun kode klasifikasi tidak menentukan pilihan implan secara otomatis. Strategi fiksasi ditetapkan setelah mempertimbangkan morfologi dan lokasi fraktur, derajat pergeseran, stabilitas, keterlibatan permukaan sendi, kondisi jaringan lunak, kualitas tulang, usia dan keadaan fisiologis pasien, cedera penyerta, ada tidaknya luka terbuka dan kontaminasi, serta tujuan bedah yang hendak dicapai. Sebagai ilustrasi, sebagian pola bikondiler plateau tibia yang kompleks dapat memerlukan fiksasi dua kolom, tetapi keputusan tersebut ditentukan oleh konfigurasi fraktur dan kondisi jaringan lunak pada masing-masing pasien, bukan oleh kode klasifikasinya.

C. Fraktur Terbuka vs. Fraktur Tertutup

Pembagian klinis antara fraktur terbuka (open fracture) dan fraktur tertutup (closed fracture) didasarkan pada ada tidaknya komunikasi antara lokasi fraktur beserta hematomanya dengan lingkungan luar. Tulang tidak harus terlihat menonjol keluar dari kulit; luka kecil sekalipun dapat menandakan fraktur terbuka apabila terdapat hubungan dengan lokasi fraktur. Diferensiasi ini kritikal dalam menentukan algoritma penanganan gawat darurat, karena fraktur terbuka memiliki risiko kontaminasi bakteri, infeksi tulang, serta gangguan penyembuhan yang lebih besar dibanding fraktur tertutup.

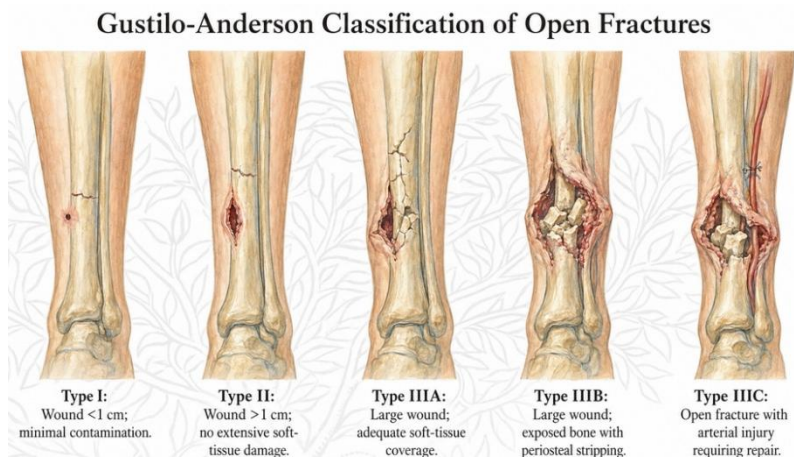
Sistem Klasifikasi Fraktur Terbuka (*Gustilo-Anderson*)

Sistem *Gustilo-Anderson* merupakan baku emas internasional yang digunakan untuk mengelompokkan tingkat keparahan fraktur terbuka pada ekstremitas bawah. Klasifikasi ini menilai berdasarkan ukuran robekan kulit, mekanisme trauma (energi tinggi vs. rendah), derajat kerusakan jaringan lunak, dan tingkat kontaminasi:

27

1. Tipe I: Luka robekan kulit bersih dengan ukuran kurang dari 1 cm. Kerusakan jaringan lunak di sekitarnya sangat minimal, dan pola fraktur biasanya sederhana (transversal atau oblik pendek) akibat trauma energi rendah.
2. Tipe II: Luka robekan kulit berukuran lebih dari 1 cm tanpa disertai kerusakan jaringan lunak yang masif, kontusio otot, maupun avulsi. Pola patahan tulang masih tergolong sederhana hingga kominutif sedang.
3. Tipe III: Ditentukan terutama oleh mekanisme trauma berenergi tinggi, kerusakan jaringan lunak yang luas, kontaminasi bermakna, pengelupasan periosteum, cedera vaskular, atau pola segmental dan kominutif tertentu. Ukuran luka kulit bukan penentu utama, dan fraktur Tipe III dapat ditemukan meskipun robekan kulitnya tidak besar. Fraktur tipe III dibagi menjadi tiga sub-tipe:
 - a. Tipe III-A: Kerusakan jaringan lunak luas, tetapi masih terdapat penutupan jaringan lunak yang adekuat terhadap tulang setelah debridement.
 - b. Tipe III-B: Kerusakan jaringan lunak ekstensif disertai pengelupasan periosteum yang luas (periosteal stripping). Tulang terekspos secara nyata dan membutuhkan prosedur rekonstruksi jaringan lunak seperti flap surgery untuk menutup tulang.
 - c. Tipe III-C: Fraktur terbuka yang disertai cedera arteri yang memerlukan perbaikan vaskular, tanpa bergantung pada ukuran luka maupun derajat kerusakan jaringan lunak lainnya.
 - d. Penentuan derajat Gustilo-Anderson secara definitif umumnya baru dapat dilakukan setelah debridement bedah, karena luasnya kerusakan jaringan lunak dan derajat kontaminasi sering belum dapat dinilai sepenuhnya pada pemeriksaan awal di instalasi gawat darurat.

21



Gambar 3.5 Klasifikasi Fraktur Terbuka dari Gustilo -Anderson

BAB 4

KARAKTERISTIK KLINIS TRAUMA

Pada bagian karakteristik klinis trauma ini menerapkan kerangka klasifikasi pada praktik sehari-hari, dengan menelusuri fraktur menurut mekanisme trauma dan lokasi anatomisnya: regio femur beserta klasifikasi Garden dan Pauwels, fraktur intertrokanter dan subtrokanter, fraktur korpus dan distal femur termasuk pola pada anak, fraktur patella, regio cruris dengan klasifikasi Schatzker, fraktur pergelangan kaki dengan klasifikasi Weber, hingga regio pedis, ditutup dengan pembahasan komorbiditas pasien. Pada tiap lokasi, pembahasan tidak berhenti pada penamaan pola, tetapi menautkannya dengan makna klinis: apa yang dicari pada pemeriksaan, apa yang menentukan stabilitas, dan risiko apa yang menyertainya. Dari sini pembahasan bergerak menuju pertanyaan berikutnya, yaitu apa yang harus dikerjakan setelah diagnosis ditegakkan.

A. Analisis Etiologi dan Mekanisme Trauma

Pemahaman mendalam mengenai etiologi dan mekanisme trauma merupakan pilar utama dalam mengevaluasi kasus fraktur ekstremitas bawah. Di dalam praktik klinis bedah ortopedi dan traumatologi, penentuan diagnosis tidak hanya bertumpu pada temuan visual garis patahan pada lembar radiografi konvensional. Dokter perlu merekonstruksi mekanisme cedera untuk memperkirakan arah gaya, besar energi, dan kemungkinan cedera penyerta.

1

Anamnesis mekanisme cedera bertujuan memperkirakan lokasi fraktur, kerusakan jaringan lunak, dan kemungkinan cedera penyerta yang belum tampak. Mekanisme tidak dapat menetapkan diagnosis secara mandiri karena pola cedera dipengaruhi oleh arah gaya, posisi ekstremitas, kualitas tulang, dan keadaan pasien saat trauma. Oleh karena itu, informasi mekanisme harus selalu dikorelasikan dengan pemeriksaan klinis dan pencitraan. (Solomon dkk., 2018)

Informasi yang perlu digali meliputi waktu kejadian, posisi ekstremitas saat trauma, arah benturan, jenis aktivitas, perkiraan tinggi jatuh, bagian tubuh yang pertama kali membentur permukaan, kemampuan menumpu berat badan setelah cedera, serta adanya luka atau perdarahan. Pada kecelakaan kendaraan, informasi mengenai posisi pasien, penggunaan alat pelindung, arah benturan, dan bagian kendaraan yang mengenai ekstremitas dapat membantu mengarahkan pencarian cedera.

Riwayat nyeri sebelum trauma, penurunan kemampuan berjalan, kanker, infeksi, penyakit metabolik tulang, atau penggunaan obat tertentu perlu ditanyakan untuk membedakan fraktur traumatik dari fraktur patologis. Nyeri yang berkembang bertahap setelah peningkatan aktivitas tanpa satu kejadian trauma yang jelas mengarahkan kecurigaan pada cedera stres tulang.

Mekanisme tertentu memberikan petunjuk mengenai cedera penyerta. Gaya aksial setelah jatuh dengan kedua kaki sebagai titik pendaratan meningkatkan kecurigaan terhadap fraktur kalkaneus, tibia proksimal, pelvis, atau tulang belakang. Benturan pada lutut yang tertekuk saat tabrakan kendaraan dapat berhubungan dengan cedera asetabulum atau dislokasi posterior panggul. Gerakan rotasi dengan kaki terfiksasi dapat menimbulkan cedera spiral tibia atau kompleks pergelangan kaki. Hubungan tersebut bersifat petunjuk dan tidak boleh dianggap sebagai pola yang selalu terjadi. (Solomon dkk., 2018)

Manifestasi umum fraktur meliputi nyeri, pembengkakan, ekimosis, deformitas, keterbatasan fungsi, dan ketidakmampuan menumpu berat badan. Namun, tidak semua fraktur menunjukkan seluruh tanda tersebut. Fraktur impaksi, fraktur yang tidak bergeser, dan fraktur pada struktur yang terletak dalam dapat hanya menimbulkan nyeri lokal dengan deformitas yang minimal.

Pemeriksaan dimulai dengan menilai keadaan umum dan stabilitas fisiologis pasien. Pada trauma berenergi tinggi, kelainan ekstremitas tidak boleh mengalihkan perhatian dari cedera yang mengancam jiwa. Fraktur femur atau cedera multipel dapat disertai kehilangan darah yang bermakna meskipun perdarahan luar tidak terlihat.

Pemeriksaan lokal dilakukan melalui inspeksi posisi ekstremitas, pembengkakan, ekimosis, deformitas, luka, kontaminasi, lepuh, penegangan kulit, dan keadaan kompartemen. Luka pada ekstremitas yang sama harus dinilai kemungkinan hubungannya dengan fraktur. Palpasi dilakukan secara hati-hati untuk menentukan lokasi nyeri dan deformitas. Upaya menimbulkan krepitasi atau gerakan abnormal secara sengaja tidak diperlukan karena menambah nyeri dan dapat memperburuk kerusakan jaringan. (Solomon dkk., 2018)

Status neurovaskular distal harus didokumentasikan sebelum dan setelah imobilisasi atau manipulasi. Pemeriksaan meliputi suhu dan warna kulit, waktu pengisian kapiler, pulsasi arteri, fungsi motorik, serta sensibilitas sesuai distribusi saraf. Dokumentasi tidak cukup hanya menggunakan istilah "neurovaskular baik", tetapi harus menyebutkan komponen yang dinilai. Prinsip penilaian tersebut juga ditekankan dalam NICE guideline untuk fraktur kompleks dan fraktur nonkompleks.

Temuan yang memerlukan perhatian segera meliputi luka terbuka, perdarahan aktif, deformitas dengan penegangan kulit, ekstremitas pucat atau dingin, pulsasi yang melemah, defisit motorik atau sensorik baru, pembengkakan progresif, serta nyeri yang tidak sebanding dengan cedera atau bertambah saat

peregangan pasif otot. Tanda tersebut dapat menunjukkan cedera vaskular, kerusakan saraf, ancaman kulit, atau sindrom kompartemen.

B. Distribusi Anatomis Spesifik Fraktur

Analisis distribusi anatomis spesifik pada fraktur ekstremitas bawah memberikan gambaran komprehensif mengenai titik-titik kerentanan struktural sepanjang sumbu mekanis tubuh. Setiap segmen tulang panjang memiliki karakteristik geometris, ketebalan korteks, penyebaran vaskularisasi, serta selubung miologis (perototan) yang unik. Faktor-faktor tersebut berinteraksi dengan arah gaya trauma eksternal untuk menentukan di mana kebuntuan mekanis akan terjadi, sekaligus membentuk presentasi manifestasi klinis yang khas pada pasien.

1. Regio Proksimal, Distal dan Korpus Femur (Paha)

Femur merupakan tulang panjang utama pada paha yang menghubungkan *articulatio coxae* dengan *articulatio genu*. Secara fungsional, femur berperan dalam transmisi beban dari panggul menuju lutut, mempertahankan panjang dan kesejajaran tungkai, serta menjadi tempat perlekatan berbagai kelompok otot yang mengendalikan gerakan panggul dan lutut. Meskipun berada pada satu tulang yang sama, fraktur femur tidak dapat dipandang sebagai satu kelompok cedera yang seragam. Perbedaan komposisi tulang, vaskularisasi, hubungan dengan kapsul sendi, perlekatan otot, dan keberadaan lempeng pertumbuhan menghasilkan karakteristik biologis dan mekanis yang berbeda pada setiap segmennya.

Secara anatomis, fraktur femur dibagi menjadi fraktur proksimal, fraktur korpus atau diafisis, dan fraktur distal. Fraktur proksimal meliputi fraktur leher femur, intertrokanter, subtrokanter, serta fraktur terisolasi pada trokanter mayor atau minor. Fraktur korpus melibatkan bagian diafisis di antara regio subtrokanter dan metafisis distal. Fraktur distal meliputi fraktur suprakondiler, kondiler,

dan fraktur intraartikular distal femur. Pada anak, fraktur proksimal femur, korpus femur, dan separasi epifisis distal harus dibahas secara tersendiri karena melibatkan pola cedera, kapasitas remodeling, dan risiko gangguan pertumbuhan yang berbeda dari pasien dewasa. Sistem AO/OTA menggunakan kode 31 untuk proksimal femur, 32 untuk korpus femur, dan 33 untuk distal femur, tetapi kode tersebut berfungsi sebagai bahasa morfologis dan tidak menggantikan penilaian klinis, kondisi jaringan lunak, kualitas tulang, dan karakteristik pasien.

a. Fraktur Proksimal Femur

1) Fraktur Leher Femur

Fraktur leher femur merupakan fraktur pada segmen yang menghubungkan kaput femur dengan regio trokanter. Sebagian besar leher femur berada di dalam kapsul sendi panggul sehingga cedera ini lazim disebut sebagai fraktur intrakapsular. Berdasarkan posisi anatomis garis fraktur, fraktur leher femur dapat dibedakan menjadi subkapital, transservikal, dan basiservikal. Pembagian anatomis tersebut penting karena menunjukkan kedekatan garis fraktur dengan kaput femur, karakter tulang yang terlibat, serta kemungkinan cedera terhadap pembuluh darah retinakular yang menyuplai kaput femur. AO/OTA mengelompokkan fraktur leher femur dalam kelompok 31-B dan selanjutnya membaginya berdasarkan lokasi serta morfologi fraktur.

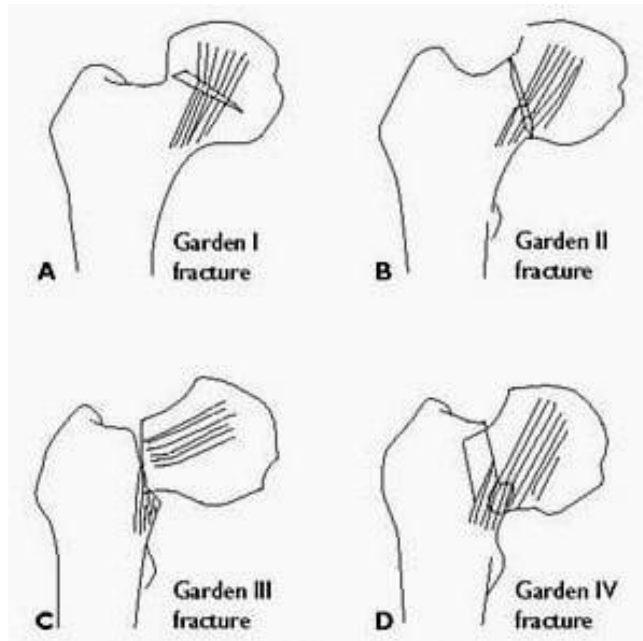
Kerentanan biologis fraktur leher femur berhubungan dengan suplai darah kaput femur yang terutama berjalan melalui pembuluh retinakular di sepanjang leher femur. Pergeseran fragmen dapat merusak pembuluh tersebut dan meningkatkan risiko osteonekrosis kaput femur. Selain itu, lokasi intrakapsular memiliki lapisan periosteum yang terbatas dan tidak menghasilkan kalus eksternal sebesar fraktur ekstrakapsular. Kombinasi gangguan

vaskular, lingkungan biologis intrakapsular, serta gaya geser pada garis fraktur menjelaskan kecenderungan terjadinya nonunion dan osteonekrosis. Namun, risiko komplikasi tidak boleh ditentukan hanya berdasarkan nama klasifikasi; derajat pergeseran awal, kualitas reduksi, kerusakan vaskular, usia pasien, dan stabilitas fiksasi juga harus dipertimbangkan.

Klasifikasi Garden

Klasifikasi Garden menilai kelengkapan dan derajat pergeseran fraktur berdasarkan radiografi anteroposterior. Garden tipe I merupakan fraktur tidak lengkap atau impaksi valgus, tipe II merupakan fraktur lengkap tanpa pergeseran, tipe III merupakan fraktur lengkap dengan pergeseran parsial, sedangkan tipe IV merupakan fraktur lengkap dengan pergeseran penuh dan hilangnya kontinuitas trabekular antara kaput dan leher femur.

Dalam praktik klinis, klasifikasi ini sering disederhanakan menjadi fraktur tidak bergeser, yaitu Garden I-II, dan fraktur bergeser, yaitu Garden III-IV. Penyederhanaan tersebut lebih mudah digunakan untuk komunikasi klinis dan membantu menggambarkan kemungkinan instabilitas serta gangguan vaskular. Meskipun demikian, reliabilitas antarpemilai klasifikasi Garden tidak sempurna. Oleh karena itu, keputusan tata laksana tidak boleh dibuat hanya berdasarkan satu angka Garden tanpa mempertimbangkan usia biologis pasien, kualitas tulang, morfologi garis fraktur, posterior comminution, dan tujuan mempertahankan kaput femur.



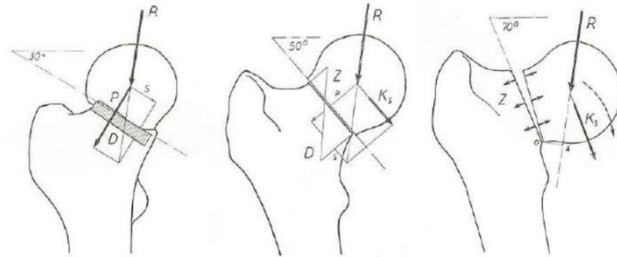
Gambar 4.1 Klasifikasi Garden Fraktur Leher Femur Berdasarkan Kelengkapan dan Pergeseran

Klasifikasi Pauwels

Klasifikasi Pauwels menilai sudut garis fraktur terhadap bidang horizontal. Pauwels tipe I memiliki sudut kurang dari 30° , tipe II antara 30° dan 50° , sedangkan tipe III lebih dari 50° . Semakin vertikal garis fraktur, semakin besar komponen gaya geser dan semakin kecil komponen kompresi aksial yang bekerja pada bidang fraktur. Dengan demikian, fraktur Pauwels tipe III secara biomekanis lebih tidak stabil dan memiliki kecenderungan lebih besar untuk mengalami pergeseran varus atau kegagalan penyatuan.

Fungsi utama klasifikasi Pauwels adalah menjelaskan lingkungan mekanis fraktur, bukan secara langsung menentukan viabilitas kaput femur. Pengukuran sudut juga dapat berubah akibat rotasi tungkai, posisi radiografi, dan pergeseran fragmen.

Klasifikasi ini sebaiknya digunakan sebagai pelengkap penilaian, terutama pada pasien muda dengan garis fraktur vertikal, dan bukan sebagai satu-satunya dasar pemilihan fiksasi.



Gambar 4.2 Klasifikasi Pauwels Berdasarkan Sudut Garis Fraktur terhadap Bidang Horizontal

Karakteristik Klinis dan Radiologis

Pada pasien lanjut usia, fraktur leher femur umumnya berkaitan dengan jatuh energi rendah pada tulang osteoporotik. Pada pasien muda, cedera ini lebih sering berkaitan dengan trauma energi tinggi dan harus mendorong evaluasi terhadap cedera penyerta. Fraktur bergeser lazim menimbulkan nyeri panggul, ketidakmampuan menumpu berat badan, serta tungkai yang tampak memendek dan berotasi eksternal. Namun, deformitas tersebut dapat tidak ditemukan pada fraktur impaksi atau fraktur yang belum bergeser.

Pemeriksaan radiologis awal mencakup radiografi pelvis anteroposterior dan proyeksi lateral panggul yang sesuai. Bila gejala klinis tetap kuat tetapi radiografi awal tidak menunjukkan fraktur, fraktur tersembunyi atau *occult fracture* harus dipertimbangkan dan evaluasi lanjutan dengan magnetic resonance imaging dapat diperlukan. Sasaran evaluasi bukan hanya memastikan adanya fraktur, tetapi juga menentukan lokasi garis fraktur, pergeseran, impaksi, kominutif posterior, kualitas

tulang, dan kemungkinan cedera lain pada panggul atau femur.

2) Fraktur Intertrokanter

Fraktur intertrokanter merupakan fraktur ekstrakapsular yang berjalan di antara trokanter mayor dan trokanter minor. Regio ini didominasi tulang kancellus dengan vaskularisasi relatif baik sehingga potensi penyatuan biologis umumnya lebih baik dibandingkan fraktur leher femur. Permasalahan utama fraktur intertrokanter bukan terutama osteonekrosis kaput femur, melainkan kehilangan stabilitas mekanis yang dapat menyebabkan kolaps, pemendekan, rotasi, dan deformitas varus.

Kestabilan fraktur ditentukan oleh integritas korteks medial dan posteromedial, dinding lateral femur, kontinuitas regio trokanter, serta arah garis fraktur. Fragmen trokanter minor yang terpisah dapat menunjukkan gangguan penyangga posteromedial, tetapi ukuran fragmen saja tidak selalu menggambarkan seluruh instabilitas. Kerusakan dinding lateral menghilangkan penahan terhadap translasi lateral fragmen proksimal, sedangkan pola reverse obliquity atau garis fraktur transversal menghasilkan kecenderungan pergeseran yang berbeda dari pola intertrokanter biasa.

Klasifikasi AO/OTA membagi fraktur trokanterik menjadi kelompok 31-A. Tipe 31-A1 umumnya merupakan fraktur sederhana dengan dua fragmen dan dinding lateral yang masih kompeten. Tipe 31-A2 merupakan fraktur pertrokanter multifragmenter dengan gangguan dinding lateral atau penyangga medial. Tipe 31-A3 mencakup pola reverse obliquity, transversal, atau fraktur dengan ekstensi yang menghasilkan instabilitas tinggi. Klasifikasi Evans atau Evans-Jensen masih dapat digunakan untuk membedakan pola stabil dan tidak

stabil, tetapi AO/OTA memberikan deskripsi morfologis yang lebih terstandardisasi.

Secara klinis, pasien dapat menunjukkan nyeri panggul hebat, ketidakmampuan berdiri, pemendekan tungkai, rotasi eksternal, dan ekimosis pada paha proksimal. Karena fraktur bersifat ekstrakapsular dan permukaan tulang kanselus yang cedera cukup luas, perdarahan lokal dan penurunan hemoglobin dapat terjadi. Pada pasien geriatri, luaran tidak hanya ditentukan oleh penyatuan fraktur, tetapi juga oleh frailty, komorbiditas, status mobilitas sebelum cedera, fungsi kognitif, dan kecepatan pemulihan mobilisasi.

3) Fraktur Proksimal Femur pada Anak

Fraktur leher dan proksimal femur pada anak merupakan cedera yang jarang, tetapi memiliki konsekuensi klinis besar. Berbeda dari pasien lanjut usia, fraktur ini lebih sering disebabkan trauma energi tinggi, seperti kecelakaan kendaraan atau jatuh dari ketinggian. Pada anak yang lebih kecil, riwayat trauma yang tidak sesuai dengan pola fraktur juga harus menimbulkan kewaspadaan terhadap cedera nonaksidental.

Klasifikasi Delbet-Colonna merupakan klasifikasi yang paling banyak digunakan. Tipe I merupakan separasi transepifisis atau transphyseal antara kaput dan leher femur. Tipe II merupakan fraktur transservikal. Tipe III merupakan fraktur servikotrokanterik atau basiservikal, sedangkan tipe IV merupakan fraktur intertrokanter. Klasifikasi ini memiliki nilai prognostik karena kedekatan garis fraktur dengan kaput dan pembuluh darah retinakular berhubungan dengan risiko osteonekrosis; secara umum, tipe I dan II mempunyai risiko lebih tinggi dibandingkan tipe III dan IV.

Komplikasi yang harus diperhatikan meliputi osteonekrosis kaput femur, coxa vara, nonunion, penutupan prematur lempeng pertumbuhan, deformitas proksimal femur, dan perbedaan panjang tungkai. Risiko tersebut menunjukkan bahwa kemampuan penyembuhan anak yang baik tidak selalu berarti prognosis fraktur leher femur pada anak juga baik. Kualitas reduksi, stabilitas, derajat pergeseran awal, dan kerusakan vaskular tetap berperan penting terhadap luaran.

4) Fraktur Subtrokanter

Regio subtrokanter secara klinis didefinisikan sebagai daerah yang membentang dari trokanter minor hingga sekitar 5 cm ke arah distal. Daerah ini merupakan zona transisi antara tulang kancellus proksimal dan korteks tebal diafisis. Regio tersebut menerima gaya kompresi besar pada korteks medial dan gaya tarik pada korteks lateral selama aktivitas menumpu berat badan. Karena dominasi tulang kortikal dan besarnya gaya mekanis, fraktur subtrokanter memiliki kecenderungan mengalami malalignment, keterlambatan penyatuan, nonunion, serta kegagalan implan bila reduksi dan stabilitas tidak memadai.

Tarikan otot menghasilkan pola deformitas khas. Fragmen proksimal cenderung mengalami fleksi akibat tarikan musculus iliopsoas, abduksi akibat musculus gluteus medius dan minimus, serta rotasi eksternal akibat kelompok rotator eksternal pendek. Fragmen distal cenderung tertarik ke arah medial dan proksimal oleh kelompok aduktor sehingga menimbulkan varus dan pemendekan. Pemahaman terhadap deforming forces tersebut lebih penting daripada sekadar menghafal bentuk garis fraktur karena menentukan kesulitan reduksi.

Klasifikasi Seinsheimer membagi fraktur berdasarkan jumlah fragmen, lokasi fragmen trokanter minor, dan tingkat kominutif. Klasifikasi Russell-Taylor menilai keberadaan kominutif posteromedial dan perluasan fraktur ke fossa piriformis atau trokanter mayor. Sistem tersebut memiliki nilai historis untuk menggambarkan morfologi dan membantu perencanaan fiksasi, tetapi reliabilitasnya terbatas. Dalam dokumentasi kontemporer, klasifikasi AO/OTA dan deskripsi langsung mengenai lokasi, pola garis fraktur, kominutif medial, ekstensi proksimal, serta kualitas reduksi lebih bermanfaat daripada hanya menyebutkan satu nama eponim.

Pada trauma energi tinggi, fraktur subtrokanter dapat disertai cedera multipel. Sebaliknya, fraktur yang terjadi setelah trauma minimal perlu dinilai terhadap osteoporosis, lesi patologis, atau pola fraktur femur atipikal. Fraktur subtrokanter tidak boleh secara otomatis disebut fraktur atipikal karena istilah tersebut memiliki kriteria radiologis dan etiologis tersendiri.

5) Fraktur Terisolasi Trokanter Mayor dan Trokanter Minor

Fraktur terisolasi pada satu trokanter termasuk kelompok 31-A1.1 dalam AO/OTA. Fraktur trokanter mayor dapat terjadi akibat benturan langsung, jatuh pada sisi lateral panggul, atau avulsi oleh otot abduktor. Pada anak dan remaja, cedera dapat melibatkan apofisis yang belum menutup. Pada pasien dewasa, gambaran radiografi yang tampak hanya mengenai trokanter mayor tidak selalu benar-benar terisolasi karena garis fraktur dapat meluas secara tersembunyi menuju regio intertrokanter.

Nyeri yang tidak sebanding dengan gambaran radiografi, ketidakmampuan menumpu berat badan, atau kecurigaan terhadap ekstensi intertrokanter merupakan alasan untuk melakukan pencitraan

lanjutan. Identifikasi ekstensi tersebut penting karena mengubah penilaian kestabilan dan risiko pergeseran.

Fraktur avulsi trokanter minor pada remaja umumnya berkaitan dengan kontraksi kuat musculus iliopsoas saat aktivitas olahraga. Namun, fraktur trokanter minor yang benar-benar terisolasi pada orang dewasa, terutama setelah trauma minimal atau tanpa trauma yang jelas, merupakan temuan yang tidak lazim. Kondisi tersebut harus memicu evaluasi terhadap fraktur patologis akibat keganasan primer maupun metastasis sebelum dianggap sebagai avulsi sederhana.

b. Fraktur Korpus Femur

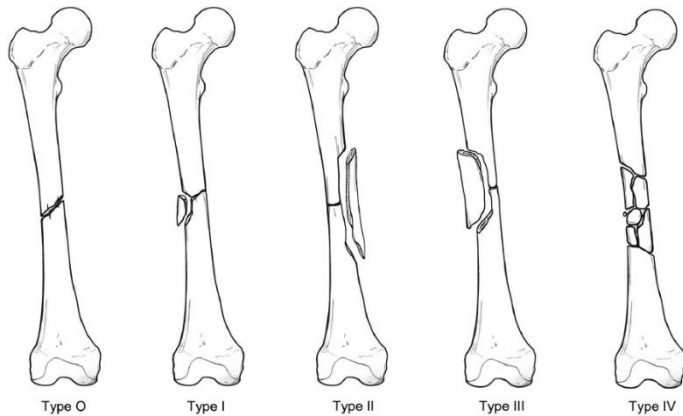
Fraktur korpus femur melibatkan diafisis femur di antara batas subtrokanter dan metafisis distal. Ketebalan korteks dan kekuatan struktur femur menyebabkan fraktur pada pasien dewasa muda umumnya berkaitan dengan transfer energi yang besar. Pada pasien lanjut usia, fraktur dapat terjadi melalui mekanisme energi lebih rendah bila terdapat osteoporosis, kelainan tulang patologis, atau implan sebelumnya.

Sistem AO/OTA mengklasifikasikan fraktur korpus femur sebagai 32-A untuk fraktur sederhana, 32-B untuk fraktur baji, dan 32-C untuk fraktur multifragmenter atau kompleks. Subklasifikasi lebih lanjut mempertimbangkan pola spiral, oblik, transversal, dan lokasi pada sepertiga proksimal, tengah, atau distal.

Klasifikasi Winkquist-Hansen menggambarkan derajat kominusi pada fraktur shaft/diafisis femur dan secara tidak langsung mencerminkan **jumlah kontak kortikal serta stabilitas fraktur**. Semakin tinggi tipe, semakin besar kominusi dan semakin kecil kontak antara fragmen utama proksimal dan distal.

- 1) **Tipe 0:** tidak terdapat kominusi.
- 2) **Tipe I:** terdapat fragmen *butterfly* kecil/minimal; stabilitas kortikal relatif masih baik.

- 3) **Tipe II:** kominusi lebih besar, tetapi masih terdapat **>50% kontak kortikal** antara fragmen utama.
- 4) **Tipe III:** kominusi luas dengan **<50% kontak kortikal**, sehingga fraktur menjadi lebih tidak stabil terhadap pemendekan, translasi, dan rotasi.
- 5) **Tipe IV:** kominusi segmental berat dengan **tidak adanya kontak kortikal langsung** antara fragmen proksimal dan distal



Gambar 4.3 Klasifikasi Winquist–Hansen pada Fraktur Diafisis Femur.

Keterangan: Derajat kominusi meningkat dari tipe 0 hingga tipe IV, disertai penurunan kontak kortikal dan peningkatan instabilitas mekanik fraktur.

Manifestasi lokal meliputi nyeri berat, deformitas, pembengkakan paha, krepitasi, dan ketidakmampuan menggunakan tungkai. Paha dapat menampung perdarahan dalam jumlah bermakna tanpa perdarahan eksternal yang terlihat sehingga fraktur korpus femur harus dinilai dalam kerangka resusitasi trauma, terutama pada cedera energi tinggi. Penilaian tidak boleh berhenti pada deformitas paha; kondisi kulit, luka terbuka, status neurovaskular, tegangan kompartemen, serta cedera pada panggul dan lutut harus diperiksa.

Gaya otot menghasilkan deformitas yang berbeda menurut tingkat fraktur. Pada fraktur sepertiga proksimal, fragmen proksimal cenderung fleksi, abduksi, dan rotasi eksternal. Pada fraktur sepertiga distal, tarikan musculus gastrocnemius dapat menggeser fragmen distal ke posterior dan meningkatkan perhatian terhadap struktur neurovaskular poplitea. Pemendekan timbul akibat spasme dan tarikan kelompok otot paha terhadap fragmen yang kehilangan kontinuitas struktural.

Seluruh femur, termasuk panggul dan lutut, harus dievaluasi secara radiologis. Fraktur leher femur ipsilateral dapat menyertai fraktur korpus akibat trauma energi tinggi dan dapat terlewat bila pencitraan hanya berpusat pada diafisis. Karena itu, evaluasi kaput, leher femur, dan sendi lutut merupakan bagian dari pemeriksaan fraktur korpus femur, bukan pemeriksaan tambahan yang terpisah.

Secara mekanis, fiksasi intramedular merupakan prinsip utama pada sebagian besar fraktur korpus femur dewasa karena bekerja sebagai konstruksi load-sharing yang relatif dekat dengan sumbu mekanis tulang. Namun, waktu dan metode fiksasi harus disesuaikan dengan stabilitas fisiologis pasien, kontaminasi luka, kerusakan jaringan lunak, serta kebutuhan damage-control orthopaedics pada pasien politrauma.

Fraktur Korpus Femur pada Anak

Fraktur korpus femur pada anak memiliki kapasitas penyatuan dan remodeling yang lebih besar dibandingkan pada dewasa. Meskipun demikian, kemampuan remodeling tidak sama pada semua bidang. Angulasi tertentu dapat mengalami koreksi selama pertumbuhan, sedangkan deformitas rotasi memiliki kemampuan remodeling yang jauh lebih terbatas. Pemendekan awal juga harus dinilai dengan mempertimbangkan kemungkinan overgrowth pascafraktur.

Klasifikasi AO pediatrik membedakan fraktur diafisis femur berdasarkan pola sederhana, wedge, atau multifragmenter serta bentuk transversal, oblik, dan spiral. Dalam praktik klinis, pemilihan tata laksana lebih banyak ditentukan oleh usia, berat badan, pola stabilitas panjang, lokasi fraktur, kondisi jaringan lunak, cedera penyerta, dan kemampuan keluarga menjalani perawatan dibandingkan oleh satu klasifikasi saja.

Pada bayi dan anak kecil, terapi nonoperatif seperti harness atau hip spica masih memiliki peran pada pola yang sesuai. Pada anak usia sekolah dengan fraktur yang stabil terhadap panjang, elastic stable intramedullary nailing sering digunakan. Pada pasien yang lebih besar, lebih berat, mendekati maturitas skeletal, atau memiliki fraktur panjang yang tidak stabil, pilihan dapat beralih ke submuscular plating atau rigid intramedullary nail dengan titik masuk yang mempertimbangkan keamanan vaskular kaput femur. Batas usia bukan angka mutlak; keputusan harus mempertimbangkan ukuran tubuh dan karakteristik fraktur.

Komplikasi yang perlu dinilai meliputi malalignment, malrotasi, infeksi, perbedaan panjang tungkai, overgrowth, kekakuan lutut, dan gangguan pertumbuhan akibat cedera yang meluas ke fisis. Pada anak yang belum dapat berjalan, fraktur femur tanpa mekanisme trauma yang memadai memerlukan evaluasi menyeluruh terhadap kemungkinan cedera nonaksidental dan kelainan tulang yang mendasari.

c. Fraktur Distal Femur

Istilah fraktur distal femur mencakup cedera pada metafisis suprakondiler, kondilus femur, dan permukaan artikular distal femur. Istilah fraktur suprakondiler secara anatomis sebaiknya digunakan untuk fraktur yang terutama berada di atas kondilus dan tidak selalu melibatkan permukaan sendi. Menyamakan seluruh fraktur distal femur dengan fraktur suprakondiler dapat

menutupi perbedaan penting antara fraktur ekstraartikular dan intraartikular.

1) Fraktur Suprakondiler dan Distal Femur pada Dewasa

AO/OTA mengklasifikasikan fraktur distal femur sebagai 33-A untuk fraktur ekstraartikular, 33-B untuk fraktur artikular parsial, dan 33-C untuk fraktur artikular komplet. Pada tipe 33-B, sebagian permukaan sendi tetap berhubungan dengan diafisis, sedangkan pada tipe 33-C seluruh komponen artikular terpisah dari diafisis. Klasifikasi ini berfungsi menentukan apakah sasaran rekonstruksi hanya mencakup panjang, rotasi, dan kesejajaran metafisis atau juga memerlukan rekonstruksi anatomis permukaan artikular.

Pada pasien muda, fraktur distal femur umumnya disebabkan trauma energi tinggi dan dapat disertai kominutif metafisis, cedera jaringan lunak, fraktur terbuka, serta kerusakan sendi. Pada pasien geriatri, cedera dapat terjadi setelah jatuh energi rendah pada tulang osteoporotik. Fraktur periprostetik di sekitar komponen femoral total knee arthroplasty merupakan kelompok tersendiri karena dipengaruhi oleh stabilitas implan dan ketersediaan tulang distal.

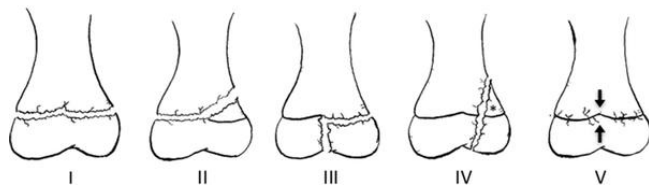
Fragmen distal cenderung bergeser ke posterior akibat tarikan musculus gastrocnemius. Kominutif medial dapat menyebabkan kolaps varus, sedangkan kehilangan panjang dan rotasi akan mengganggu sumbu mekanis tungkai. Pemeriksaan harus mencakup kondisi kulit, pembengkakan, hemartrosis, fungsi mekanisme ekstensor, status neurovaskular, dan kemungkinan cedera ligamentum lutut. Cedera arteri poplitea harus dipertimbangkan pada deformitas berat, dislokasi, atau temuan vaskular yang abnormal.

Radiografi anteroposterior dan lateral mencakup seluruh femur dan lutut. Computed tomography terutama bermanfaat bila dicurigai keterlibatan artikular, fragmen koronal seperti Hoffa fracture, atau kominutif yang tidak dapat dipahami secara lengkap melalui radiografi. Luaran dipengaruhi oleh restorasi permukaan sendi, panjang femur, rotasi, alignment koronal dan sagital, stabilitas konstruksi, kualitas tulang, dan kemampuan memulai mobilisasi lutut. Komplikasi jangka panjang meliputi kekakuan lutut, malunion, nonunion, kegagalan fiksasi, infeksi, dan osteoarthritis pascatrauma.

2) Separasi Fraktur Epifisis Distal Femur pada Anak

Separasi epifisis distal femur merupakan fraktur yang melibatkan fisis distal femur dan diklasifikasikan menurut Salter-Harris. Tipe I berjalan melalui fisis, tipe II melalui fisis dan metafisis, tipe III melalui fisis dan epifisis, tipe IV melintasi metafisis, fisis, dan epifisis, sedangkan tipe V merupakan cedera kompresi fisis. Dalam sistem AO pediatrik, cedera epifisis distal femur dimasukkan dalam kelompok 33-E. Salter-Harris tipe II merupakan pola yang paling sering dijumpai pada regio ini.

Salter-Harris Classification



Gambar 4.4 Klasifikasi Salter-Harris Cedera Lempeng Pertumbuhan

Fisis distal femur menyumbang sekitar 70% pertumbuhan longitudinal femur dan sekitar 37% pertumbuhan panjang seluruh tungkai bawah. Oleh karena itu, kerusakan pada fisis ini dapat

menyebabkan konsekuensi yang lebih besar dibandingkan cedera fisis pada banyak lokasi lain. Gangguan pertumbuhan dapat muncul sebagai pemendekan tungkai, deformitas varus atau valgus, deformitas sagital, atau kombinasi di antaranya. Bahkan fraktur yang tidak bergeser tidak sepenuhnya bebas dari risiko penutupan prematur fisis.

Cedera umumnya terjadi akibat gaya valgus, varus, rotasi, atau hiperekstensi pada lutut. Karena kedekatan fisis distal dengan struktur poplitea, pergeseran besar dapat disertai cedera vaskular atau neurologis. Pemeriksaan nadi perifer, perfusi, fungsi motorik dan sensorik, serta pengawasan terhadap perubahan status neurovaskular harus dilakukan secara berulang, terutama setelah reduksi dan imobilisasi.

Fungsi klasifikasi Salter-Harris adalah menggambarkan jalur fraktur terhadap fisis dan permukaan articular. Namun, klasifikasi tersebut tidak secara sempurna memprediksi pertumbuhan karena luaran juga dipengaruhi oleh energi trauma, derajat pergeseran, kerusakan germinal layer, terbentuknya physeal bar, dan usia sisa pertumbuhan pasien. Cedera tipe III dan IV memerlukan perhatian khusus terhadap kongruensi articular, sedangkan seluruh cedera fisis distal femur memerlukan pemantauan jangka panjang terhadap panjang tungkai dan alignment hingga pertumbuhan mendekati maturitas.

Fraktur Patella

Patella merupakan komponen mekanisme ekstensor lutut yang mempertahankan tendon quadriceps dan ligamentum patela menjauhi pusat rotasi sendi, sehingga memperpanjang lengan momen dan meningkatkan efisiensi kontraksi quadriceps. Retinakulum ekstensor medial dan lateral berjalan di

sisi patela menuju tibia proksimal dan dapat mempertahankan ekstensi aktif meskipun kontinuitas tulang patela terputus. Trauma langsung, seperti jatuh pada lutut atau benturan dengan dasbor kendaraan, umumnya menyebabkan fraktur tanpa pergeseran atau fraktur kominutif berbentuk stellate dengan retinakulum yang tetap utuh.

Fraktur patela diklasifikasikan berdasarkan morfologinya menjadi transversal, longitudinal, polar atas / polar bawah (*superior pole / inferior pole*), dan kominutif atau stellate, yang masing-masing dapat berupa fraktur tanpa pergeseran atau dengan pergeseran. Pemisahan fragmen dinilai bermakna terutama bila menimbulkan ketidakteraturan permukaan artikular atau mengganggu kontinuitas mekanisme ekstensor. Nilai celah yang sering dikutip, misalnya sekitar 3 mm pada fraktur transversal, berguna sebagai rambu penilaian dan bukan ambang operasi tunggal; keputusan mempertimbangkan pula pola fraktur, derajat step artikular, kemampuan ekstensi aktif, serta kondisi dan kebutuhan fungsional pasien. Pasien biasanya mengalami nyeri, pembengkakan atau hemartrosis, nyeri tekan patela, serta kemungkinan abrasi pada bagian anterior lutut. Celah antarfragmen dapat teraba pada fraktur transversal yang bergeser. Kemampuan melakukan ekstensi aktif atau mengangkat tungkai lurus menunjukkan bahwa mekanisme ekstensor masih kontinu, sedangkan kegagalan melakukan gerakan tersebut menunjukkan disrupsi mekanisme ekstensor. Radiografi dapat memperlihatkan garis fraktur halus tanpa pergeseran, fraktur multipel dengan pergeseran tidak teratur, atau fraktur transversal dengan diastasis. Fragmen superolateral dengan tepi halus dan berkortikasi perlu dibedakan dari patela bipartita, yang sering ditemukan bilateral.



Gambar 4.5 Klasifikasi AO/OTA Fraktur Patela (34).

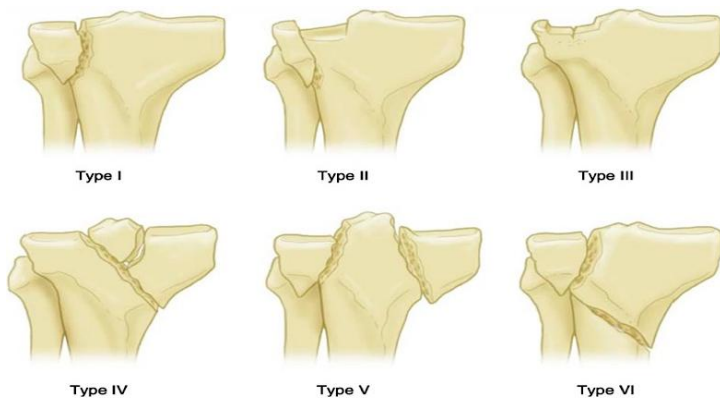
Fraktur dikelompokkan menjadi **extra-articular** (34-A), **partial articular** (34-B), dan **complete articular** (34-C). Peningkatan kompleksitas dari C1 hingga C3 mencerminkan pola fraktur yang semakin kompleks dan derajat kominusi yang lebih besar.

Fraktur transversal yang bergeser umumnya memerlukan tindakan operatif karena biasanya disertai robekan retinakulum dan terputusnya mekanisme ekstensor. Sasaran fiksasi adalah memulihkan kontinuitas mekanisme ekstensor, mengembalikan kongruensi permukaan artikular, dan mencapai stabilitas yang memungkinkan gerak dini. Prinsip tension band, yang mengubah gaya tarik pada permukaan anterior menjadi gaya tekan pada permukaan artikular, merupakan salah satu cara mencapai sasaran tersebut. Konstruksinya dapat berupa kombinasi K-wire dengan kawat fleksibel, sekrup kanulasi dengan kawat, maupun pelat,

disesuaikan dengan pola fraktur, kualitas tulang, dan pengalaman operator. Ekspansi ekstensor yang robek diperbaiki pada tindakan yang sama. Imobilisasi dipertahankan sampai ekstensi aktif kembali, sedangkan latihan fleksi aktif dilakukan secara bertahap. Fungsi lutut umumnya dapat pulih dengan baik, tetapi kerusakan permukaan artikular dapat menyebabkan osteoarthritis patelofemoral pada periode lanjut.

2. Regio Cruris (*Tibia Fibula*)

Tibial plateau merupakan permukaan artikular proksimal tibia yang menerima beban dari kondilus femoralis. Secara anatomis, regio ini terdiri atas plateau medial dan lateral, eminensia interkondiler, serta berhubungan erat dengan meniskus, ligamentum cruciatum, ligamentum kolateral, dan kapsul sendi lutut. Karena fungsi utamanya sebagai permukaan tumpuan sendi, fraktur tibial plateau memiliki konsekuensi klinis terhadap stabilitas lutut, alignment ekstremitas bawah, dan distribusi beban jangka panjang.



Gambar 4.6 Gambaran Schatzker Klasifikasi : Fraktur Tibial Plateau

Klasifikasi Schatzker disusun berdasarkan radiografi konvensional sehingga tidak menggambarkan kolom posterior, fragmen posteromedial, maupun fragmen posterolateral secara memadai. Evaluasi berbasis computed tomography sering diperlukan untuk perencanaan operatif, terutama pada pola yang kompleks.

Tabel 4.1 Schatzker Klasifikasi : Fraktur Tibial Plateau

Tipe Schatzker	Pola Cedera	Makna Klinis
Tipe I	Split fracture pada plateau tibia lateral tanpa depresi artikular bermakna	Umumnya mengenai plateau lateral; dapat terjadi pada tulang dengan kualitas relatif baik.
Tipe II	Split-depression fracture pada plateau tibia lateral	Merupakan pola yang sering ditemukan; terdapat kombinasi garis split dan penurunan permukaan artikular.
Tipe III	Pure depression fracture pada plateau lateral atau sentral tanpa split utama	Lebih sering berkaitan dengan tulang osteoporotik; permukaan artikular terdorong ke bawah.
Tipe IV	Fraktur plateau tibia medial, dengan atau tanpa depresi	Secara klinis lebih serius karena plateau medial merupakan kompartemen penopang beban utama dan sering berkaitan dengan instabilitas lutut.
Tipe V	Fraktur bicondylar yang melibatkan plateau medial dan lateral	Menunjukkan cedera yang lebih kompleks karena kedua

Tipe Schatzker	Pola Cedera	Makna Klinis
		kompartemen artikular lutut terlibat.
Tipe VI	Fraktur plateau tibia dengan disosiasi metafisis-diafisis	Menggambarkan cedera tinggi dengan pemisahan segmen artikular dari diafisis tibia; sering disertai kerusakan jaringan lunak.

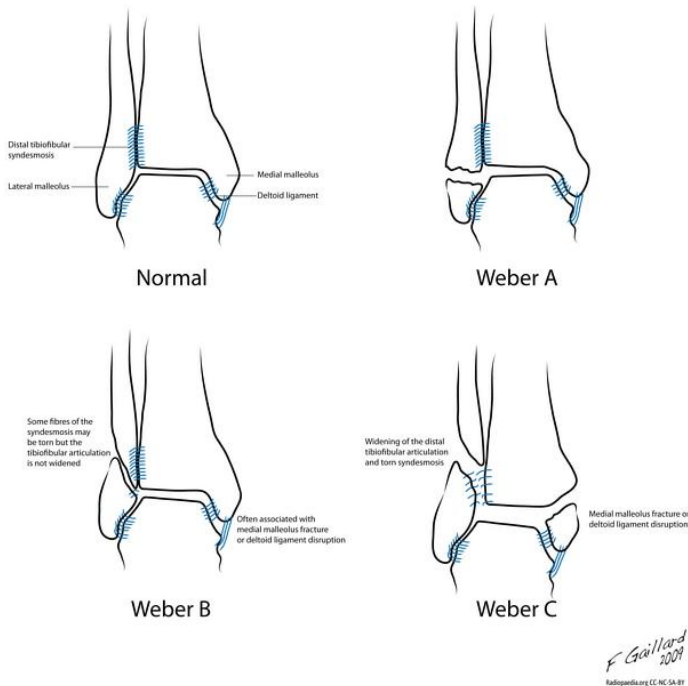
Hemartrosis akut setelah trauma lutut yang disertai nyeri saat menumpu berat badan sebaiknya meningkatkan kecurigaan terhadap cedera intra-artikular dan menjadi alasan untuk evaluasi lanjutan.

Diafisis tibia dan fibula membentuk kerangka utama tungkai bawah. Tibia merupakan tulang penopang beban dominan yang mentransmisikan beban dari lutut ke ankle, sedangkan fibula berperan sebagai stabilisator lateral, tempat perlekatan otot, dan komponen penting stabilitas tibiofibular distal. Secara klinis, regio ini penting karena permukaan anteromedial tibia sangat superfisial dan hanya dilapisi kulit serta jaringan subkutan tipis.

3. Regio Pergelangan Kaki (*Articulatio Talocruralis*)

Kompleks pergelangan kaki merupakan struktur cincin mekanis yang stabilitasnya dijaga ketat oleh komponen tulang (malleolus medial, lateral, posterior) dan ligamen.

Fraktur Malleolus (Ankle Fracture)



Gambar 4.7 Klasifikasi Weber Fraktur Pergelangan Kaki

Klasifikasi Danis-Weber membagi fraktur fibula distal berdasarkan posisi garis fraktur terhadap **sindesmosis tibiofibular distal**, yang berkaitan dengan kemungkinan cedera sindesmosis dan stabilitas ankle.

- Weber A:** garis fraktur berada **di bawah sindesmosis** (*infrasyndesmotic*). Sindesmosis biasanya tetap intact dan cedera umumnya lebih stabil.
- Weber B:** garis fraktur berada **setinggi sindesmosis** (*trans-syndesmotic*), biasanya dengan arah oblik/spiral. Cedera sindesmosis dapat terjadi sebagian sehingga stabilitas harus dinilai lebih lanjut.
- Weber C:** garis fraktur berada **di atas sindesmosis** (*suprasyndesmotic*), sering disertai ruptur sindesmosis dan cedera medial, sehingga lebih berpotensi tidak stabil.

4. Regio Pedis

Regio pedis merupakan segmen paling distal ekstremitas bawah yang berfungsi sebagai struktur penopang beban terminal, penyerap gaya, pengatur keseimbangan, dan pengungkit pada fase akhir gait. Istilah plafond secara anatomis merujuk pada permukaan artikular distal tibia, bukan pada kaki. Secara anatomis, pedis dibatasi secara proksimal oleh kompleks pergelangan kaki, yaitu hubungan antara distal tibia-fibula dengan talus pada articulatio talocruralis, dan secara distal oleh ujung phalanges pedis. Batas superiornya adalah dorsum pedis, sedangkan batas inferiornya adalah planta pedis yang berperan dalam distribusi tekanan dan pembentukan arkus kaki.

- a. Sendi Chopart, yang terdiri atas articulatio talonavicularis dan calcaneocuboidea, menjadi batas fungsional antara hindfoot dan midfoot. Sementara itu, sendi Lisfranc atau kompleks tarsometatarsal menjadi batas antara midfoot dan forefoot. Kedua batas ini penting secara klinis karena cedera pada area tersebut dapat mengganggu stabilitas arkus kaki dan menyebabkan gangguan gait jangka panjang bila tidak dikenali.
- b. Fraktur pedis meliputi fraktur talus, calcaneus, midfoot, metatarsal, dan phalanges. Walaupun ukuran tulang-tulang pedis lebih kecil dibandingkan femur atau tibia, fraktur pada regio ini tetap memiliki dampak fungsional bermakna karena kaki merupakan struktur terminal weight-bearing yang menentukan distribusi beban, keseimbangan, dan efisiensi pola berjalan.
- c. Fraktur talus terutama penting karena talus merupakan penghubung biomekanik antara tungkai bawah dan pedis. Talus berartikulasi dengan tibia-fibula di superior, calcaneus di inferior, dan navicular di anterior. Karena sebagian besar permukaannya dilapisi kartilago artikular dan vaskularisasinya relatif terbatas, fraktur talus perlu diperhatikan karena risiko gangguan suplai darah tulang,

avascular necrosis, kekakuan sendi, dan arthritis pascatrauma.

- d. Fraktur calcaneus umumnya berkaitan dengan high-energy axial impact yang ditransmisikan melalui tumit. Calcaneus berperan sebagai tulang utama hindfoot dan menjadi tempat perlekatan tendon Achilles di posterior. Manifestasi klinis dapat berupa nyeri tumit hebat, pembengkakan hindfoot, ekimosis, pelebaran kontur tumit, ketidakmampuan weight-bearing, serta nyeri pada gerak subtalar. Bila permukaan sendi subtalar ikut terganggu, pasien berisiko mengalami nyeri kronis dan keterbatasan inversi-eversi kaki.
- e. Fraktur midfoot perlu dinilai secara hati-hati karena regio ini mempertahankan integritas arkus kaki. Cedera pada kompleks Lisfranc dapat tampak subtil pada pemeriksaan awal, tetapi memiliki implikasi besar terhadap stabilitas tarsometatarsal. Nyeri midfoot, pembengkakan dorsum pedis, plantar ecchymosis, dan ketidakmampuan weight-bearing harus meningkatkan kecurigaan terhadap cedera midfoot yang tidak stabil.
- f. Fraktur metatarsal dapat terjadi akibat direct impact, rotational load, atau repetitive loading. Secara fungsional, metatarsal berperan dalam distribusi beban forefoot dan fase push-off saat berjalan. Gangguan alignment metatarsal dapat menyebabkan metatarsalgia, transfer lesion, nyeri saat memakai alas kaki, dan perubahan pola gait.
- g. Fraktur phalanges pedis umumnya bersifat lebih lokal, tetapi tetap penting karena jari kaki berperan dalam keseimbangan, adaptasi terhadap permukaan tanah, dan toe-off phase. Komplikasi yang dapat muncul meliputi nyeri kronis, deformitas jari, keterbatasan penggunaan alas kaki, gangguan distribusi tekanan plantar, dan perubahan pola berjalan.

C. Komorbiditas dan Kondisi Sistemik Pasien

Keberhasilan luaran klinis tata laksana fraktur ekstremitas bawah tidak hanya ditentukan oleh akurasi reduksi anatomis dan kekuatan fiksasi mekanis tulang yang presisi. Kondisi sistemik baseline dan komorbiditas yang melekat pada diri pasien saat mengalami trauma memegang peranan yang sangat masif dalam memodifikasi seluruh kaskade penyembuhan jaringan. Penyakit penyerta mampu memicu komplikasi sistemik yang fatal, mengubah respons imunologi lokal, serta menentukan angka morbiditas dan mortalitas pasca-trauma secara keseluruhan. Pemetaan kondisi sistemik secara empiris mutlak diperlukan agar tim medis dapat menyusun strategi manajemen perioperatif yang holistik dan terukur.

Diabetes melitus menempati urutan teratas sebagai komorbiditas metabolik yang paling sering dijumpai di dalam praktik klinis ortopedi dan traumatologi modern. Penyakit metabolik kronis ini dapat mengganggu penyembuhan luka dan tulang melalui gangguan fungsi mikrovaskular, perubahan respons imun, dan gangguan metabolisme jaringan. Besarnya risiko bervariasi menurut kontrol glikemik, penyakit vaskular penyerta, ada tidaknya neuropati, jenis fraktur, serta faktor bedah. Kondisi hiperglikemia yang menetap dalam jangka panjang memicu pembentukan sisa metabolisme berbahaya berupa senyawa hasil akhir glikasi lanjutan. Senyawa patologis ini secara perlahan merusak struktur endotel pembuluh darah mikro di seluruh tubuh, termasuk pembuluh darah yang menyuplai nutrisi ke jaringan tulang.

Kerusakan mikrovaskular akibat diabetes melitus secara drastis menghambat proses angiogenesis, yaitu pembentukan pembuluh darah kapiler baru yang sangat dibutuhkan segera setelah tulang patah. Pada fase inflamasi awal, ketiadaan suplai darah yang adekuat menyebabkan area nekrosis di ujung fragmen fraktur meluas karena sel-sel osteosit kekurangan oksigen. Tanpa adanya jaringan kapiler baru yang sehat, migrasi sel progenitor mesenkim dari sumsum tulang menuju lokasi

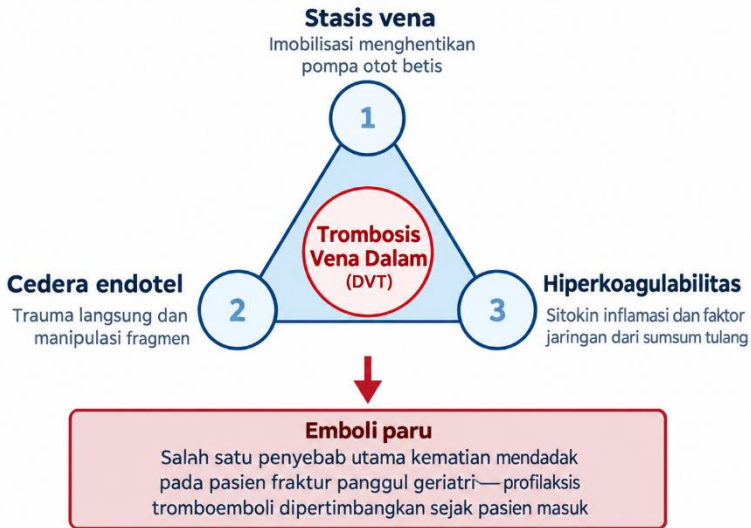
cedera akan terhambat, sehingga kaskade pembentukan kalus lunak berjalan sangat lambat.

Selain mengganggu aspek vaskularisasi, diabetes melitus juga menekan sistem kekebalan tubuh fungsional pasien melalui penurunan kapasitas kemotaksis dan fagositosis sel makrofag serta neutrofil. Fenomena imunodefisiensi fungsional ini menempatkan pasien pada risiko yang sangat tinggi untuk mengalami infeksi daerah operasi setelah tindakan bedah fiksasi internal. Bakteri, terutama spesies stafilokokus, dapat berkolonisasi pada permukaan implan dan membentuk biofilm yang menurunkan efektivitas antibiotik sistemik. Infeksi yang terjadi di sekitar implan fraktur kini lazim dibahas dengan istilah *fracture-related infection*, yang tidak identik dengan *osteomyelitis kronis*. Kombinasi antara hambatan angiogenesis, penekanan fungsi imun, serta gangguan sintesis kolagen oleh sel osteoblas pada pasien diabetes melitus sering kali berujung pada kegagalan penyembuhan tulang. Pasien diabetes menunjukkan perpanjangan waktu penyatuan tulang secara signifikan, sebuah kondisi yang dikenal sebagai penundaan penyambungan.

Pada sebagian kasus, proses penyatuan dapat terhambat atau gagal sehingga terjadi *delayed union* maupun *nonunion*. Komorbiditas kardiovaskular seperti hipertensi kronis, fibrilasi atrium, penyakit jantung koroner, dan gagal jantung kongestif juga memegang peranan penting dalam menentukan prognosis pasien fraktur ekstremitas bawah. Anggota gerak bawah merupakan organ penopang berat badan utama, sehingga fraktur pada regio paha atau tungkai bawah seketika memaksa pasien berada dalam kondisi imobilisasi total. Keharusan untuk menjalani tirah baring yang lama pada fase awal trauma berinteraksi secara destruktif dengan gangguan fungsional sistem kardiovaskular.

Trias Virchow pada Fraktur Ekstremitas Bawah

Tiga unsur yang bersama-sama menciptakan lingkungan terbentuknya trombosis vena dalam



Gambar 4.8 Trias Virchow pada Pasien Fraktur Ekstremitas Bawah

Ketika seorang pasien mengalami imobilisasi, pompa otot betis yang dalam kondisi normal berfungsi mendorong darah vena kembali ke jantung akan berhenti bekerja secara mendadak. Penghentian aktivitas pompa mekanis ini memicu terjadinya perlambatan aliran darah balik yang masif di dalam pembuluh darah balik tungkai bawah, sebuah fenomena patologi yang disebut stasis vena.

Stasis vena merupakan salah satu komponen pembentuk kaskade pembekuan darah abnormal yang dijelaskan di dalam teori kedokteran klasik melalui konsep Trias Virchow. Komponen kedua dari Trias Virchow terpenuhi melalui kerusakan dinding pembuluh darah lokal atau cedera endotel vena yang terjadi secara langsung akibat hantaman trauma mekanis patah tulang.

Sementara itu, komponen ketiga berupa kondisi hiperkoagulabilitas darah dipicu oleh pelepasan sitokin inflamasi sistemik dan faktor jaringan dari sumsum tulang yang

patah ke dalam sirkulasi darah. Terpenuhiya ketiga unsur Trias Virchow ini menciptakan lingkungan biologis yang sangat ideal bagi terbentuknya gumpalan darah abnormal di dalam pembuluh darah balik, yang dikenal sebagai trombosis vena dalam. Trombosis vena dalam pada ekstremitas bawah menyimpan bahaya laten yang sangat mematikan bagi keselamatan jiwa pasien fraktur. Trombus yang terbentuk di dalam vena dalam tungkai dapat terlepas dan terbawa aliran darah balik menuju proksimal, melewati jantung kanan, hingga menyumbat percabangan arteri pulmonalis.

Perlu ditegaskan bahwa mobilisasi dini bukan pemicu kejadian tersebut. Sebaliknya, mobilisasi sedini mungkin bila kondisi memungkinkan merupakan bagian penting dari strategi pencegahan tromboemboli vena. Sumbatan akut pada pembuluh darah paru-paru ini memicu komplikasi sistemik katastrofik yang disebut emboli paru

BAB 5 | PRINSIP PENANGANAN FRAKTUR

Penanganan fraktur tidak dimulai pada tulang, melainkan pada pasien. Pada cedera berenergi tinggi, fraktur sering hanya merupakan satu bagian dari cedera multisistem, sehingga urutan tindakan ditentukan oleh ancaman terhadap nyawa lebih dahulu, kemudian ancaman terhadap ekstremitas, baru setelah itu pemulihan bentuk dan fungsi tulang yang patah. Modul ini menyusun kerangka tersebut dalam dua bagian: prinsip penanganan fraktur, termasuk penilaian awal menurut prinsip Advanced Trauma Life Support (ATLS), dan sindrom kompartemen akut sebagai kedaruratan ekstremitas yang paling sering terlewat.

Kerangka klasik yang dipakai sebagai dasar adalah kerangka Apley, yang merangkum tata laksana lokal fraktur ke dalam tiga tahap: reduksi (reduce), penahanan atau fiksasi (hold), dan latihan atau pemulihan fungsi (exercise) (Solomon dkk., 2018). Kerangka tersebut dilengkapi dengan kepustakaan dan pedoman mutakhir, terutama pedoman fraktur terbuka, protokol waktu fiksasi pada politrauma, serta pedoman sindrom kompartemen akut edisi terbaru.

Seluruh angka, ambang, dan rentang waktu yang disebutkan dalam modul ini merupakan alat bantu keputusan yang berasal dari populasi penelitian tertentu. Angka-angka tersebut tidak menggantikan penilaian klinis pada pasien di hadapan kita, dan harus disesuaikan dengan keadaan pasien, sumber daya, serta protokol setempat.

A. Penilaian Awal dan Resusitasi Pasien Trauma

Pada pasien trauma, penilaian dan penanganan berlangsung bersamaan, tidak berurutan. Prinsip ATLS menempatkan pemeriksaan yang mendeteksi keadaan paling cepat mematikan pada urutan pertama, dengan tindakan koreksi dikerjakan begitu kelainan ditemukan, bukan setelah seluruh pemeriksaan selesai.

Survei Primer x ABCDE

Edisi kesebelas ATLS yang diterbitkan American College of Surgeons pada tahun 2025 menambahkan huruf x di depan urutan ABCDE, sehingga menjadi xABCDE. Huruf tersebut menandai kendali perdarahan luar yang mengancam nyawa sebagai tindakan yang didahulukan, karena pada sebagian pasien penghentian perdarahan yang menyembur lebih menentukan keselamatan dibandingkan langkah jalan napas (American College of Surgeons, 2025). Perubahan ini relevan langsung bagi ortopedi, sebab perdarahan luar yang dimaksud sering berasal dari luka fraktur terbuka atau amputasi traumatik.

Survei Primer xABCDE pada Politrauma

ATLS edisi ke-11 menambahkan huruf x di depan ABCDE

X	Exsanguinating haemorrhage Kendali perdarahan luar yang mengancam nyawa didahulukan: tekanan langsung, balut tekan, tourniket pada perdarahan ekstremitas yang tidak terkendali.
A	Airway dan proteksi servikal Jalan napas dinilai dan diamankan; kolom servikal dipertahankan segaris pada mekanisme trauma yang sesuai.
B	Breathing dan ventilasi Ventilasi, oksigenasi, dan kelainan toraks yang mengancam nyawa dinilai dan ditangani.
C	Circulation Sumber perdarahan tersembunyi mencakup rongga toraks, abdomen, retroperitoneum, cincin panggul, dan tulang panjang. Pengikat panggul pada cedera cincin panggul yang tidak stabil serta bidai atau traksi pada fraktur femur merupakan tindakan resusitatif, bukan sekadar imobilisasi.
D	Disability Tingkat kesadaran, pupil, dan defisit neurologis dinilai; sedasi serta cedera kepala membuat pemeriksaan ekstremitas menjadi tidak dapat diandalkan.
E	Exposure dan kendali lingkungan Pasien dibuka seluruhnya untuk menemukan luka terbuka dan deformitas, kemudian dihangatkan kembali karena hipotermia memperberat koagulopati.
Adjun dan survei sekunder Radiografi, e-FAST, dan pemeriksaan ulang dilakukan setelah pasien stabil. Pemeriksaan ekstremitas menyeluruh mencakup inspeksi seluruh permukaan kulit sesudah log-roll, palpasi, penilaian gerak, serta pencatatan status neurovaskular sebelum dan sesudah setiap reduksi atau pemasangan bidai. Radiografi mengikuti kaidah dua proyeksi, dua sendi, dan bila perlu pemeriksaan ulang pada waktu berbeda.	
Kedaruratan ortopedi yang dicari sejak survei primer • Fraktur cincin panggul tidak stabil dengan syok • Fraktur terbuka dan cedera dengan kontaminasi berat • Cedera vaskular, dislokasi sendi besar, dan fraktur-dislokasi • Sindrom kompartemen akut	

Gambar 5.1 Survei Primer x ABCDE dengan Penekanan pada Temuan dan Tindakan Ortopedi

Pada tahap circulation, sumber perdarahan yang sering terlewat justru berada pada sistem muskuloskeletal. Cedera cincin panggul yang tidak stabil dapat menampung perdarahan dalam jumlah besar di retroperitoneum, sedangkan fraktur femur dapat menampung perdarahan yang bermakna pada paha. Pemasangan pengikat panggul pada cedera cincin panggul yang tidak stabil serta pembidaian atau traksi pada fraktur femur karena itu merupakan bagian dari resusitasi, bukan sekadar tindakan kenyamanan.

Torniket dipertimbangkan pada perdarahan ekstremitas yang tidak terkendali dengan tekanan langsung; waktu pemasangan dicatat, dan pelepasan dilakukan dalam kondisi terkendali di kamar operasi. Deformitas yang jelas direduksi secara kasar dan dibidai sejak awal karena tindakan ini mengurangi perdarahan, nyeri, serta tegangan pada jaringan lunak dan struktur neurovaskular.

Survei Sekunder dan Pemeriksaan Ekstremitas

Survei sekunder dimulai setelah pasien stabil. Pada tahap ini seluruh permukaan tubuh diperiksa, termasuk punggung setelah log-roll, karena luka kecil pada sisi posterior mudah terlewat. Pemeriksaan ekstremitas mengikuti urutan lihat, raba, dan gerak: inspeksi mencari deformitas, pembengkakan, luka, dan warna kulit; palpasi menilai nyeri tekan, krepitasi, ketegangan kompartemen, serta pulsasi distal; penilaian gerak dilakukan sejauh yang dapat ditoleransi pasien.

Status neurovaskular dicatat sebelum dan sesudah setiap tindakan reduksi, pemasangan bidai, atau pemindahan pasien. Pencatatan ini bukan formalitas administratif: perubahan status di antara dua pemeriksaan adalah informasi diagnostik yang paling berharga, dan pada kasus sindrom kompartemen sering menjadi satu-satunya bukti yang tersedia di kemudian hari.

Permintaan radiografi mengikuti kaidah yang lazim diajarkan: sekurang-kurangnya dua proyeksi yang saling tegak lurus, mencakup dua sendi yang mengapit tulang yang dicurigai patah, dan bila perlu diulang pada waktu berbeda apabila kecurigaan klinis tetap tinggi meskipun gambaran awal tampak normal. Pemeriksaan potong lintang dipertimbangkan pada fraktur yang melibatkan permukaan sendi atau pada daerah dengan anatomi yang tumpang tindih.

Tabel 5.1 Temuan Ortopedi yang Dicari pada Setiap Tahap Survei Primer

Tahap	Temuan dan Tindakan Ortopedi
x	Perdarahan luar dari luka fraktur terbuka atau amputasi traumatik; tekanan langsung, balut tekan, torniket bila perlu
A	Cedera servikal penyerta pada trauma berenergi tinggi; imobilisasi segaris
B	Fraktur kosta multipel dan flail chest yang menyertai cedera ekstremitas
C	Cincin panggul tidak stabil dan fraktur femur sebagai sumber perdarahan; pengikat panggul, bidai traksi, reduksi kasar
D	Kesadaran menurun membuat pemeriksaan ekstremitas tidak dapat diandalkan; ambang pemantauan diturunkan
E	Luka terbuka, deformitas, dan cedera sisi posterior ditemukan saat log-roll; cegah hipotermia

B. Prinsip Penanganan Fraktur Tertutup

1. Reduksi

Reduksi bertujuan mengembalikan kesejajaran, panjang, dan rotasi fragmen mendekati keadaan anatomis. Manfaatnya melampaui bentuk tulang: reduksi mengurangi tegangan pada jaringan lunak, saraf, dan pembuluh darah, membantu tamponade perdarahan pada lokasi fraktur, serta menurunkan nyeri.

Reduksi tertutup dikerjakan melalui manipulasi manual dengan atau tanpa traksi, dengan analgesia atau sedasi yang memadai, dan umumnya membutuhkan lebih dari satu orang: satu melakukan manuver, satu memberi kontratraksi, dan satu memasang imobilisasi. Prinsip manuvernya adalah membalikkan arah gaya yang menyebabkan cedera.

Reduksi terbuka dikerjakan melalui eksposur bedah dengan visualisasi langsung, dan dipertimbangkan bila reduksi tertutup gagal, bila terdapat jaringan lunak yang terjepit di antara fragmen, bila fraktur melibatkan permukaan sendi, atau bila fiksasi internal definitif memang direncanakan.

Derajat presisi yang dibutuhkan tidak seragam. Fraktur ekstraartikular pada diafisis tulang panjang masih menoleransi angulasi dan pemendekan residual dalam batas tertentu tanpa mengganggu fungsi, sedangkan rotasi ditoleransi jauh lebih buruk. Sebaliknya, fraktur yang melibatkan permukaan sendi umumnya memerlukan reduksi yang mendekati anatomis, karena inkongruensi artikular berkaitan dengan artritis pascatrauma.

2. Penahanan atau Fiksasi

Posisi yang telah dicapai perlu dipertahankan sampai penyatuan tulang cukup kuat menahan beban fungsional. Pilihan metode ditentukan oleh morfologi dan lokasi fraktur, derajat pergeseran, stabilitas, keterlibatan permukaan sendi, kondisi jaringan lunak, kualitas tulang, usia dan keadaan fisiologis pasien, cedera penyerta, ada tidaknya luka terbuka, serta tujuan bedah yang hendak dicapai (Buckley dkk., 2018).

Tabel 5.2 Metode Fiksasi Fraktur dan Pertimbangan Utamanya

Metode	Pertimbangan
Gips dan bidai	Pada fase pembengkakan awal sebaiknya tidak sirkumferensial penuh; melewati sendi di atas dan di bawah bila terdapat instabilitas rotasional; pasien diedukasi mengenai tanda bahaya
Traksi	Untuk fraktur dengan gaya otot kuat dan pola tidak stabil; umumnya penahanan sementara sebelum fiksasi definitif

Metode	Pertimbangan
Fiksasi interna	K-wire, sekrup, pelat, dan nail intrameduler; memungkinkan gerak dini bila konstruksi cukup stabil
Fiksasi eksterna	Fraktur terbuka dengan jaringan lunak buruk, pasien tidak stabil secara fisiologis, atau sebagai tindakan sementara pada damage control

Pasien yang diimobilisasi dan tidak menumpu berat badan dinilai kebutuhan profilaksis tromboemboli vena sesuai faktor risiko individual. Pada saat yang sama, setiap pasien dengan gips atau balutan melingkar harus diberi tahu bahwa nyeri yang bertambah, kesemutan, atau kelemahan merupakan alasan untuk kembali segera, karena keluhan tersebut dapat menandakan sindrom kompartemen akut.

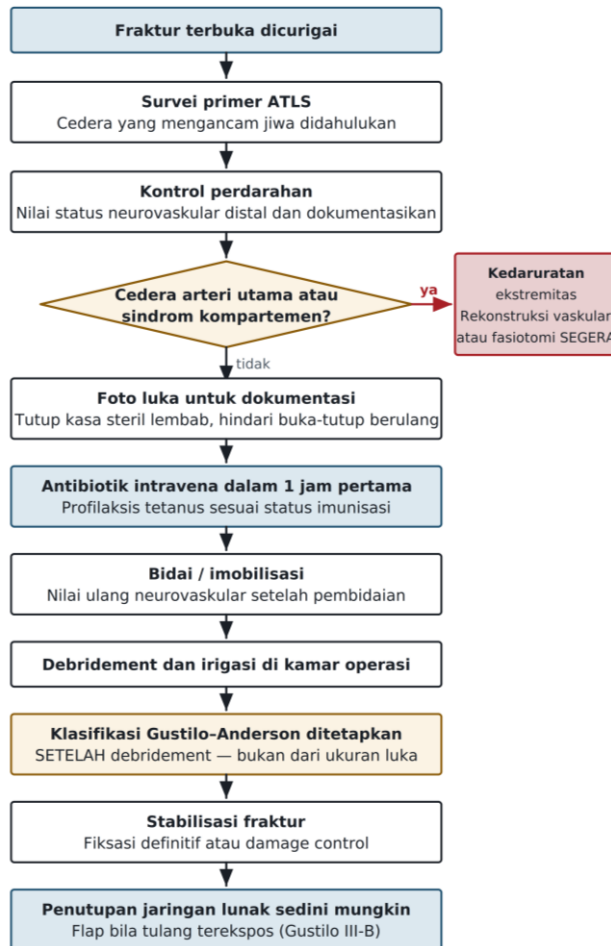
3. Latihan dan Pemulihan Fungsi

Sasaran akhir tata laksana adalah fungsi ekstremitas, bukan sekadar penyatuan tulang. Sendi yang tidak diimobilisasi digerakkan sedini mungkin, latihan isometrik dimulai saat imobilisasi masih terpasang, dan pembebanan ditingkatkan secara bertahap sesuai stabilitas konstruksi serta respons klinis.

Tinjauan sistematis mengenai pembebanan dini yang progresif setelah fraktur ekstremitas bawah melaporkan angka komplikasi yang rendah, tetapi protokol yang dipakai antarpenelitian tidak seragam dan mutu buktinya belum cukup untuk dijadikan rekomendasi tunggal bagi semua pola fraktur dan semua konstruksi fiksasi (Flowers dkk., 2022). Karena itu progresi pembebanan tetap ditentukan secara individual, dan instruksi kepada pasien serta fisioterapis perlu dinyatakan secara eksplisit dalam catatan medis.

Alur Penilaian Awal Fraktur Terbuka

Urutan tindakan sejak pasien tiba di instalasi gawat darurat



Gambar 5.2 Alur Penilaian Awal Fraktur Terbuka Ekstremitas Bawah di Instalasi Gawat Darurat

7

C. Prinsip Penanganan Fraktur Terbuka

Fraktur terbuka adalah fraktur yang lokasinya berhubungan dengan lingkungan luar. Ukuran luka bukan penentu utama keparahan, karena luka kecil dapat menyertai cedera berenergi tinggi dengan kerusakan jaringan lunak yang

luas. Penilaian definitif derajat Gustilo-Anderson umumnya baru dapat dilakukan setelah debridement bedah.

Standar penanganan yang banyak dianut menekankan pemberian antibiotik intravena sesegera mungkin, idealnya dalam satu jam pertama sejak cedera; pemeriksaan dan pencatatan status vaskular dan neurologis; penanganan luka yang minimal di instalasi gawat darurat, hanya untuk membuang kontaminasi kasar dan mengambil foto dokumentasi, kemudian ditutup kasa lembap dan dibidai; serta debridement bedah yang waktunya disesuaikan dengan derajat kontaminasi dan energi trauma (British Orthopaedic Association, 2017; National Institute for Health and Care Excellence, 2016).

Tabel 5.3 Rekomendasi Waktu Pemberian Antibiotik, Debridement, dan Penutupan Jaringan Lunak pada Fraktur Terbuka

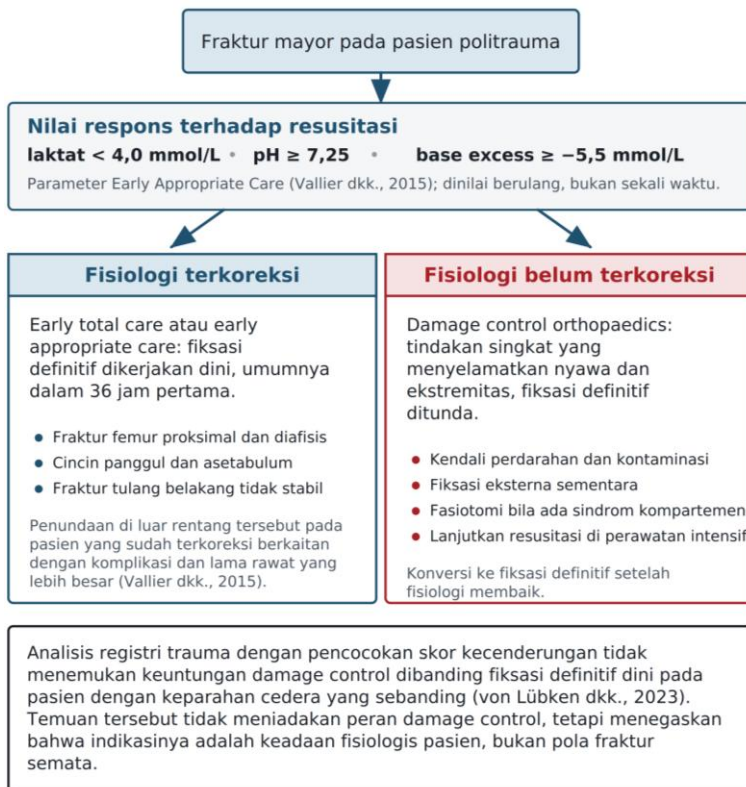
Tindakan	Waktu
Antibiotik intravena	Sesegera mungkin, idealnya dalam 1 jam sejak cedera
Debridement segera	Kontaminasi berat (pertanian, air, limbah) atau disertai gangguan vaskular
Debridement fraktur berenergi tinggi	Dalam 12 jam sejak cedera
Debridement fraktur berenergi rendah	Dalam 24 jam sejak cedera
Penutupan atau penutupan ulang jaringan lunak definitif	Dalam 72 jam sejak cedera

Perencanaan fiksasi dan penutupan sebaiknya disusun bersama oleh bedah ortopedi dan bedah plastik pada satu kesempatan, karena keputusan mengenai jenis fiksasi dan jenis penutupan saling bergantung. Profilaksis tetanus diberikan sesuai status imunisasi, dan luka dinilai ulang secara berkala setelah tindakan.

Pada pasien dengan cedera multipel, pertanyaannya bukan hanya bagaimana fraktur akan difiksasi, tetapi kapan. Fiksasi definitif yang dikerjakan pada pasien yang belum terkoreksi secara fisiologis dapat menjadi cedera kedua bagi pasien, sedangkan penundaan yang tidak perlu pada pasien yang sudah terkoreksi juga merugikan.

Waktu Fiksasi Definitif pada Pasien Politrauma

keputusan mengikuti respons fisiologis terhadap resusitasi



Keputusan diambil bersama tim bedah trauma, anestesi, dan perawatan intensif; parameter di atas adalah alat bantu, bukan pengganti penilaian klinis berulang.

Gambar 5.3 Kerangka Keputusan Waktu Fiksasi Definitif Berdasarkan Respons Terhadap Resusitasi

Protokol early appropriate care menetapkan bahwa fiksasi definitif fraktur femur proksimal dan diafisis, cincin panggul, asetabulum, serta tulang belakang yang tidak stabil dikerjakan

dalam 36 jam pertama apabila resusitasi telah menghasilkan perbaikan asidosis metabolik, dengan penanda laktat vena kurang dari 4,0 mmol per liter, pH arteri sekurang-kurangnya 7,25, atau base excess sekurang-kurangnya minus 5,5 mmol per liter. Penerapan protokol tersebut berkaitan dengan penurunan angka komplikasi dan lama rawat dibandingkan penundaan

Damage control orthopaedics tetap memiliki tempat pada pasien yang secara fisiologis belum terkoreksi. Tindakannya singkat dan bertujuan mengendalikan perdarahan serta kontaminasi, memasang fiksasi eksterna sementara, dan mengerjakan fasciotomi bila diperlukan, sementara resusitasi dilanjutkan di unit perawatan intensif. Analisis registri trauma dengan pencocokan skor kecenderungan tidak menemukan keunggulan damage control dibandingkan fiksasi definitif dini pada pasien dengan keparahan cedera yang sebanding. Temuan tersebut tidak meniadakan peran damage control, tetapi menegaskan bahwa indikasinya adalah keadaan fisiologis pasien, bukan pola fraktur semata.

BAB 6

PROGNOSIS, KOMPLIKASI, DAN REHABILITASI PASCA-FRAKTUR

Bab penutup ini menelusuri faktor prognostik, komplikasi akut dan kronis, pencegahan komplikasi sekunder, rehabilitasi dan fisioterapi, serta evaluasi berkala dan arah pengembangan klinis kontemporer. Sindrom kompartemen akut mendapat pembahasan tersendiri secara rinci karena merupakan kedaruratan ekstremitas yang keterlambatannya berujung pada kerusakan menetap, sekaligus salah satu diagnosis yang paling sering terlewat. Benang merah bab ini, sekaligus benang merah seluruh buku, adalah bahwa sasaran akhir penanganan fraktur ekstremitas bawah bukanlah tulang yang menyatu, melainkan pasien yang kembali berdiri, berjalan, dan menjalankan perannya. Penyembuhan tulang hanyalah sarana pemulihan fungsi adalah tujuannya.

A. Prognosis Pasca-Fraktur

Prognosis pasca-fraktur ditentukan oleh interaksi faktor biologis, mekanis, dan fungsional. Fraktur tertutup, sederhana, ekstraartikular, dengan kerusakan jaringan lunak minimal umumnya memiliki prognosis lebih baik karena vaskularisasi periosteum masih terjaga dan proses pembentukan kalus berlangsung optimal. Sebaliknya, fraktur terbuka, kominutif, segmental, intraartikular, atau akibat trauma energi tinggi memiliki prognosis lebih hati-hati karena sering disertai kontaminasi, devaskularisasi fragmen tulang, kehilangan jaringan lunak, dan risiko infeksi yang lebih tinggi.

Stabilitas mekanis fiksasi merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan penyembuhan. Fiksasi yang stabil memungkinkan mobilisasi dini, mencegah pergeseran fragmen, serta menurunkan risiko kekakuan sendi dan atrofi otot. Sebaliknya, fiksasi yang tidak adekuat dapat menyebabkan mikromobilitas berlebih, delayed union, nonunion, atau kegagalan implan.

Faktor pasien seperti usia lanjut, diabetes melitus, obesitas, penyakit vaskular perifer, malnutrisi, insufisiensi ginjal, defisiensi vitamin D, penggunaan kortikosteroid, serta kebiasaan merokok dapat memperlambat penyembuhan tulang. Meta-analisis menunjukkan bahwa nonunion berhubungan dengan merokok, fraktur terbuka, diabetes, infeksi, obesitas, peningkatan derajat Gustilo-Anderson, serta kompleksitas klasifikasi fraktur. Merokok juga meningkatkan risiko nonunion dan infeksi pascaoperasi ortopedi.

Tabel 6.1 Faktor Prognostik Utama

Faktor Prognostik	Implikasi Klinis
Fraktur tertutup, sederhana, ekstraartikular	Umumnya memiliki prognosis lebih baik karena kerusakan jaringan lunak minimal dan vaskularisasi periosteum lebih terjaga.
Fraktur terbuka, kominitif, segmental	Risiko infeksi, delayed union, nonunion, kehilangan jaringan lunak, dan kebutuhan rekonstruksi lebih tinggi.
Trauma energi tinggi	Sering berkaitan dengan devaskularisasi, cedera neurovaskular, sindrom kompartemen, dan luaran fungsional lebih buruk.
Reduksi anatomis dan stabilitas fiksasi	Menurunkan risiko pergeseran sekunder, memungkinkan mobilisasi dini, dan memperbaiki peluang union.
Diabetes, malnutrisi, penyakit vaskular	Menghambat penyembuhan luka dan osteogenesis melalui gangguan

Faktor Prognostik	Implikasi Klinis
	mikrosirkulasi serta metabolisme jaringan.
Merokok	Meningkatkan risiko infeksi pascaoperasi, delayed union, dan nonunion.
Keterlibatan permukaan sendi	Meningkatkan risiko kekakuan, nyeri kronis, dan artritis pascatrauma.

B. Komplikasi Pasca-Fraktur

Komplikasi pasca-fraktur dapat dibagi menjadi komplikasi akut dan komplikasi kronis. Komplikasi akut terjadi segera setelah trauma atau pada fase awal perawatan, sedangkan komplikasi kronis muncul selama proses penyembuhan atau setelah fraktur mengalami union. Pada ekstremitas bawah, komplikasi dapat berupa :

1. Komplikasi Akut

a. Sindrom Kompartemen

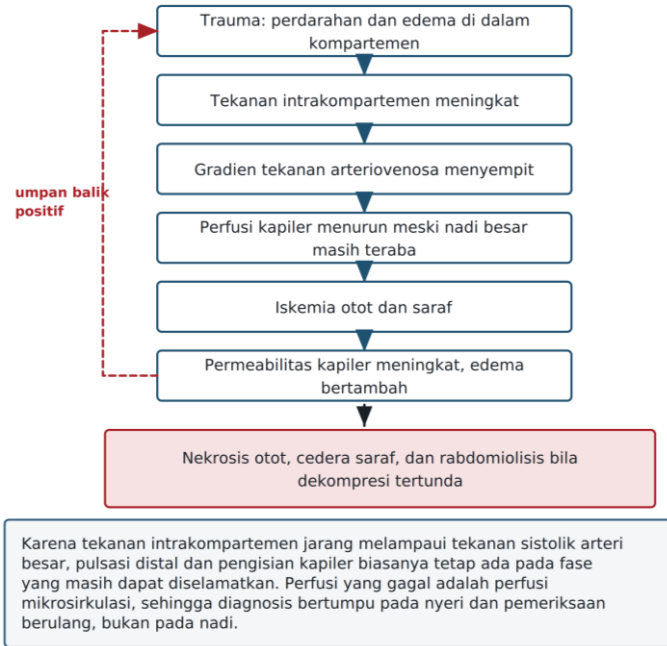
Sindrom kompartemen akut adalah keadaan ketika tekanan di dalam ruang osteofasial yang tertutup meningkat sampai melampaui tekanan perfusi kapiler, sehingga aliran darah mikrosirkulasi ke otot dan saraf di dalamnya tidak lagi memadai.

Kondisi ini merupakan kedaruratan bedah: keterlambatan dekompresi berujung pada kerusakan jaringan yang tidak dapat dipulihkan. Sebagian besar kasus berkaitan dengan fraktur, dan fraktur diafisis tibia merupakan penyebab tersering pada ekstremitas bawah.

Sekitar sepertiga seluruh sindrom kompartemen dilaporkan menyertai fraktur diafisis tibia, sedangkan angka kejadian pada populasi fraktur tibia sendiri dilaporkan berkisar antara sekitar empat sampai delapan persen, bergantung pada populasi dan definisi yang dipakai (Shadgan dkk., 2015). Perbedaan angka antarpelelitian menegaskan bahwa diagnosis ini bergantung pada kewaspadaan pemeriksa, bukan pada satu uji tunggal.

Patofisiologi Sindrom Kompartemen Akut

lingkaran yang memperberat diri sendiri di dalam ruang osteofasial tertutup



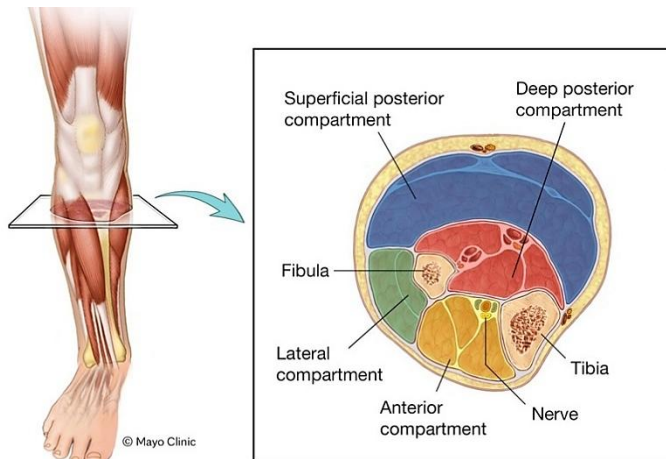
Gambar 6.1 Lingkaran Patofisiologi Sindrom Kompartemen Akut

Tabel 6.2 Kompartemen Tungkai Bawah dan Petunjuk Klinisnya

Kompartemen	Isi Utama	Petunjuk Klinis
Anterior	M. tibialis anterior, m. extensor hallucis longus, m. extensor digitorum longus, n. peroneus profundus, a. tibialis anterior	Nyeri pada fleksi plantar pasif; parestesia sela jari pertama; kelemahan dorsofleksi

Kompartemen	Isi Utama	Petunjuk Klinis
Lateral	M. peroneus longus dan brevis, n. peroneus superficialis	Nyeri pada inversi pasif; parestesia dorsum pedis
Posterior superfisial	M. gastrocnemius, m. soleus, n. suralis	Nyeri pada dorsofleksi pasif; parestesia tepi lateral kaki
Posterior profunda	M. tibialis posterior, m. flexor digitorum longus, m. flexor hallucis longus, n. tibialis, a. tibialis posterior	Nyeri pada ekstensi jari pasif; parestesia telapak kaki; sering paling sulit dinilai

Kompartemen anterior paling sering terlibat. Sindrom kompartemen juga dapat terjadi pada paha, kaki, lengan bawah, dan lengan atas, dengan prinsip diagnosis dan penanganan yang sama.



Gambar 6.2 Anatomi Kompartemen Tungkai Bawah pada Potongan Aksial

Faktor risiko mencakup fraktur diafisis tibia, trauma berenergi tinggi, cedera remuk, cedera vaskular yang disertai reperfusi, luka bakar melingkar, gips atau balutan yang terlalu ketat, gangguan koagulasi, dan penggunaan antikoagulan. Usia muda merupakan faktor risiko yang konsisten dilaporkan; pada satu kohort, pasien yang mengalami sindrom kompartemen rata-rata berusia sekitar 33 tahun dibandingkan sekitar 42 tahun pada yang tidak mengalaminya (Shadgan dkk., 2015).

Perlu ditekankan bahwa sindrom kompartemen dapat terjadi pada fraktur tertutup tanpa pergeseran besar, pada fraktur terbuka, bahkan pada cedera jaringan lunak tanpa fraktur. Anggapan bahwa luka terbuka akan mendekompresi kompartemen secara alami tidak benar dan berbahaya.

Temuan paling awal dan paling konsisten adalah nyeri yang tidak sebanding dengan derajat cedera, nyeri yang bertambah pada peregangan pasif otot di dalam kompartemen yang terlibat, dan kompartemen yang teraba tegang. Kebutuhan analgesia yang meningkat secara tidak wajar merupakan tanda peringatan tersendiri dan sebaiknya dicatat.

Rangkaian tanda klasik yang sering dihafalkan sebagai lima P, yaitu pain, paresthesia, pallor, paralysis, dan pulselessness, sebagian besar merupakan tanda lanjut. Pallor, paralysis, dan pulselessness menandakan iskemia yang sudah berjalan dan bukan kriteria yang perlu ditunggu. Pemeriksaan berulang yang terdokumentasi, sedapat mungkin oleh pemeriksa yang sama, lebih bernilai daripada pencarian satu tanda tunggal.

Pada anak, gambarannya sering berupa peningkatan kebutuhan analgesia, kegelisahan, dan kecemasan yang tidak dapat dijelaskan, sehingga perubahan perilaku perlu diperlakukan sebagai tanda bahaya. Pemeriksaan klinis juga menjadi tidak dapat diandalkan pada pasien dengan penurunan kesadaran,

pasien terintubasi, serta pasien yang mendapat anestesi neuraksial atau blok saraf regional; pedoman kontemporer menganjurkan pemeriksaan fisik yang sering dan atau pemantauan tekanan pada keadaan tersebut (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2025).

1) Pengukuran Tekanan Intrakompartemen

Pengukuran tekanan berperan sebagai penunjang, terutama pada pasien yang tidak dapat dinilai secara klinis. Tekanan intrakompartemen normal berkisar antara 0 sampai 8 mmHg. Parameter yang lebih banyak dipakai saat ini adalah delta pressure, yaitu tekanan darah diastolik dikurangi tekanan intrakompartemen terukur. Ambang klasik yang diperkenalkan McQueen dan Court-Brown adalah delta pressure kurang dari 30 mmHg sebagai indikasi dekompresi (McQueen & Court-Brown, 1996). Pedoman terbaru mendukung pemantauan berulang atau kontinu dengan delta pressure lebih dari 30 mmHg terutama untuk membantu menyingkirkan diagnosis (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2025).

Ambang tersebut merupakan alat bantu keputusan dan bukan penentu tunggal. Studi multisenter menunjukkan bahwa delta pressure memiliki spesifisitas terbatas dan nilai prediksi positif yang rendah bila dipakai sebagai kriteria diagnostik tunggal, sehingga penerapan yang kaku berisiko menghasilkan fasciotomi yang tidak diperlukan (Schmidt dkk., 2020). Beberapa hal berikut perlu diperhatikan pada saat menafsirkan hasil pengukuran.

- a) Hipotensi menurunkan delta pressure pada derajat cedera jaringan yang sama, sehingga tekanan darah pasien harus ikut dibaca.

- b) Pengukuran satu kali pada lokasi yang jauh dari fraktur dapat memberikan hasil yang menyesatkan; tekanan tertinggi umumnya berada dekat lokasi fraktur.
- c) Yang lebih bermakna adalah tren, baik tren klinis maupun tren tekanan, bukan satu angka tunggal.
- d) Modalitas lain seperti spektroskopi inframerah dekat dan penanda biokimia masih dalam penelitian dan belum menggantikan pemeriksaan klinis maupun pengukuran tekanan langsung.

2) Tata Laksana Awal dan Fasiotomi

Begitu diagnosis ditegakkan atau kecurigaan klinis kuat, tindakan berikut dikerjakan tanpa menunggu pemeriksaan tambahan.

- a) Buka seluruh gips, bidai, dan balutan melingkar sampai ke kulit.
- b) Posisikan ekstremitas setinggi jantung; elevasi berlebihan menurunkan tekanan perfusi dan memperburuk iskemia.
- c) Koreksi hipotensi dan berikan oksigen serta analgesia yang memadai.
- d) Hubungi kamar operasi untuk fasiotomi darurat, sambil melanjutkan penilaian berkala yang terdokumentasi.

Fasiotomi bertujuan mendekompresi seluruh kompartemen yang terlibat. Pada tungkai bawah, keempat kompartemen dibuka, umumnya melalui teknik dua insisi: insisi lateral untuk kompartemen anterior dan lateral, serta insisi medial untuk kompartemen posterior superfisial dan profunda. Teknik satu insisi juga dapat digunakan oleh operator yang berpengalaman. Pedoman menegaskan bahwa pilihan teknik kurang penting dibandingkan tercapainya dekompresi yang lengkap, dan menyarankan teknik dua insisi bagi klinisi yang

kurang berpengalaman (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2025).

3) Perawatan Pasca-Fasiotomi dan Stabilisasi Fraktur

Luka fasiotomi dibiarkan terbuka dan dinilai ulang. Penutupan dilakukan bertahap setelah pembengkakan mereda, melalui penutupan primer tertunda atau skin graft; terapi luka tekanan negatif dilaporkan dapat mempersingkat waktu penutupan dan mengurangi kebutuhan skin graft. Otot yang jelas nekrotik dibersihkan pada tindakan ulangan, bukan sekaligus pada tindakan pertama, karena batas jaringan yang tidak hidup sering baru jelas dalam beberapa hari.

Fraktur yang menyertai umumnya distabilkan pada tindakan yang sama, dengan fiksasi eksterna atau interna sesuai keadaan pasien dan jaringan lunak; stabilisasi tersebut memudahkan perawatan luka dan mengurangi nyeri (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2025). Pemantauan pascatindakan mencakup keseimbangan cairan, fungsi ginjal, kalium, dan penanda rabdomiolisis.

Pada pasien yang datang sangat terlambat dengan bukti kerusakan neuromuskular yang sudah ireversibel, fasiotomi tidak lagi memberikan manfaat dan justru meningkatkan risiko infeksi pada jaringan mati; pada keadaan tersebut stabilisasi fraktur sebaiknya memakai teknik yang tidak membuka kompartemen (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2025). Keputusan ini sulit dan sebaiknya diambil oleh operator berpengalaman, dengan penjelasan yang jujur kepada pasien dan keluarga mengenai kemungkinan gangguan fungsi menetap.

Komplikasi dan Sekuele

Sindrom kompartemen yang tidak dikenali atau terlambat ditangani dapat menimbulkan nekrosis otot, kontraktur iskemik Volkmann, defisit saraf permanen

seperti drop foot pada keterlibatan kompartemen anterior, deformitas dan kekakuan jari kaki, nyeri kronis, serta pada kasus berat berujung pada amputasi. Rabdomiolisis yang menyertai dapat menyebabkan mioglobinuria, cedera ginjal akut, hiperkalemia, dan gangguan asam basa yang memerlukan penanganan intensif.

Dokumentasi dan Aspek Medikolegal

Keterlambatan diagnosis sindrom kompartemen akut merupakan salah satu penyebab tuntutan medikolegal tersering dalam praktik ortopedi dan traumatologi, dan dokumentasi pemeriksaan berulang yang tidak memadai merupakan salah satu prediktor terkuat luaran hukum yang merugikan (Al-habsi, 2025). Kebiasaan berikut melindungi pasien sekaligus klinisi.

- a) Catat nyeri, kebutuhan analgesia, hasil peregangkan pasif, ketegangan kompartemen, dan status neurologis pada setiap pemeriksaan, lengkap dengan waktu dan nama pemeriksa.
- b) Catat instruksi kepada perawat mengenai frekuensi pemantauan dan ambang untuk memanggil dokter.
- c) Catat edukasi kepada pasien dan keluarga mengenai tanda bahaya setelah pemasangan gips atau balutan.
- d) Catat waktu keputusan operasi, waktu pasien masuk kamar operasi, dan alasan bila terdapat penundaan.

b. Perdarahan Masif dan Syok Hipovolemik

Perdarahan masif dan syok hipovolemik sering menyertai fraktur femur atau pelvis akibat trauma energi tinggi. Paha dapat menampung darah dalam jumlah besar tanpa perdarahan eksternal yang nyata, sehingga pemantauan tanda vital, status perfusi, hemoglobin serial, dan kebutuhan transfusi harus dilakukan secara ketat. Stabilisasi awal dengan traksi atau imobilisasi membantu

mengurangi gerakan fragmen tulang dan membatasi cedera pembuluh darah lebih lanjut.

c. Cedera Neurovaskular

Cedera neurovaskular dapat terjadi akibat fragmen tulang, dislokasi, atau traksi jaringan. Pada cedera sekitar lutut, arteri poplitea dan nervus fibularis komunis harus dievaluasi secara cermat. Pemeriksaan pulsasi distal, capillary refill, warna dan suhu kulit, fungsi motorik, serta sensorik wajib didokumentasikan sebelum dan sesudah reduksi atau fiksasi. Defisit baru setelah tindakan harus dianggap sebagai tanda bahaya sampai terbukti sebaliknya.

d. Infeksi Akut

Infeksi akut terutama terjadi pada fraktur terbuka atau pascaoperasi dengan kontaminasi luka. Bakteri dapat membentuk biofilm pada permukaan implan, sehingga infeksi menjadi sulit dieliminasi hanya dengan antibiotik. Pencegahan infeksi membutuhkan antibiotik tepat waktu, debridement adekuat, irigasi, stabilisasi fraktur, dan perawatan jaringan lunak (NICE, 2016a; Buckley dkk., 2018).

e. Emboli Lemak (Fat Emboli)

Emboli lemak merupakan komplikasi sistemik akibat pelepasan globul lemak sumsum tulang ke sirkulasi, terutama pada fraktur tulang panjang seperti femur. Gejalanya berupa hipoksemia, gangguan neurologis, dan petekie. Tata laksana terutama suportif, termasuk oksigenasi, pemantauan intensif, dan stabilisasi fraktur yang tepat waktu bila kondisi pasien memungkinkan (Tornetta dkk., 2019).

f. Tromboemboli Vena

Tromboemboli vena dapat terjadi akibat imobilisasi ekstremitas bawah, trauma, operasi, dan keadaan hiperkoagulabel. Risiko ini meningkat pada pasien usia lanjut, obesitas, riwayat trombosis, keganasan, atau

imobilisasi lama. Penilaian risiko dan tromboprolifaksis perlu disesuaikan dengan kondisi pasien, risiko perdarahan, dan protokol institusi (Tornetta dkk., 2019).

28

2. Komplikasi Kronis

a. Delayed Union dan Nonunion

Delayed union adalah keterlambatan penyatuan tulang dibandingkan waktu penyembuhan yang diharapkan untuk lokasi dan pola fraktur tertentu. Nonunion adalah kegagalan proses penyatuan tulang, yang secara klinis dapat ditandai nyeri menetap, instabilitas, dan tidak adanya progres radiologis pada pemeriksaan berturut-turut. Definisi formalnya bervariasi antar-konteks dan antar-lembaga, dan tidak ditentukan oleh satu batas waktu tunggal yang berlaku untuk semua lokasi dan pola fraktur. Nonunion hipertrofik menunjukkan aktivitas biologis baik tetapi stabilitas mekanik kurang, sedangkan nonunion atrofik menunjukkan kegagalan biologis akibat vaskularisasi buruk, infeksi, atau kehilangan tulang (Tornetta dkk., 2019).

b. Malunion

Malunion terjadi bila tulang menyatu dalam posisi yang salah, seperti angulasi, rotasi, pemendekan, atau translasi. Pada ekstremitas bawah, malunion dapat mengubah sumbu mekanis tungkai, menyebabkan gangguan berjalan, nyeri sendi, ketidakseimbangan beban, dan osteoarthritis sekunder. Deformitas rotasional sering lebih sulit ditoleransi secara fungsional karena mengganggu pola langkah dan posisi kaki saat menapak.

c. Kekakuan Sendi dan Atrofi Otot

Kekakuan sendi sering terjadi akibat imobilisasi lama, nyeri, fibrosis kapsul, adhesi intraartikular, atau keterlambatan rehabilitasi. Fraktur sekitar lutut, ankle, dan panggul, memiliki risiko tinggi mengalami kekakuan. Atrofi otot disuse juga sering terjadi akibat tirah baring dan larangan menumpu beban, terutama pada otot

kuadrisep, hamstring, dan gastroknemius. Keduanya dapat memperpanjang waktu pemulihan walaupun union tulang telah tercapai.

d. Arthritis Pascatrauma

Arthritis pascatrauma terjadi terutama pada fraktur intraartikular. Inkongruensi permukaan sendi, step-off artikular, malalignment, dan kerusakan kartilago menyebabkan konsentrasi stres abnormal, penyempitan celah sendi, osteofit, nyeri kronis, dan keterbatasan aktivitas. Karena itu, restorasi permukaan sendi dan mobilisasi sendi yang aman menjadi prinsip penting pada fraktur periartikular (Buckley dkk., 2018).

3. Komplikasi Kronis Lain

Komplikasi kronis lain yang perlu dikenali meliputi avascular necrosis pada fraktur intrakapsular kolum femur, osteomielitis kronis, complex regional pain syndrome, neuropati kompresi kronis, miositis osifikans, serta gangguan psikologis seperti ansietas, depresi, dan kinesiophobia. Gangguan psikologis dapat menurunkan kepatuhan terhadap fisioterapi dan memperpanjang ketergantungan pada alat bantu jalan.

C. Pencegahan Komplikasi Sekunder

Pencegahan komplikasi dimulai sejak fase akut. Pada risiko tromboemboli vena, strategi pencegahan meliputi mobilisasi dini, ankle pumping exercise, hidrasi adekuat, kompresi mekanis, serta antikoagulan profilaksis bila tidak terdapat kontraindikasi. Pada fraktur terbuka, pencegahan infeksi meliputi antibiotik dini, debridement, irigasi, stabilisasi tulang, dan penutupan jaringan lunak yang tepat.

Pencegahan komplikasi respirasi dilakukan dengan latihan napas dalam, incentive spirometry, perubahan posisi, dan mobilisasi dini. Pencegahan ulkus dekubitus dilakukan dengan reposisi berkala, inspeksi area tekanan, perawatan kulit, dan penggunaan alas tidur yang sesuai. Nutrisi juga penting,

terutama asupan protein, kalsium, vitamin D, serta koreksi faktor metabolik yang menghambat osteogenesis.

D. Rehabilitasi dan Fisioterapi Pasca-Fraktur

Rehabilitasi merupakan bagian integral dari tata laksana fraktur. Tujuannya bukan hanya menggerakkan sendi, tetapi mengembalikan kemampuan pasien untuk duduk, berdiri, berjalan, naik tangga, bekerja, dan beraktivitas secara mandiri. NICE menekankan bahwa rehabilitasi pascatrauma harus dimulai sejak awal, bersifat individual, holistik, dan melibatkan tim multidisiplin (NICE, 2016a).

Tabel 6.3 Fase Rehabilitasi Pasca-Fraktur Ekstremitas Bawah
Berdasarkan Target Terapi dan Intervensi Fungsional

Fase Rehabilitasi	Target Utama	Intervensi Kunci
Fase akut/proteksi	Kontrol nyeri dan edema, proteksi fraktur, pencegahan komplikasi tirah baring.	Elevasi, ankle pumping, latihan napas, kontraksi isometrik kuadrisep/hamstring, latihan sendi yang tidak terlibat.
Fase mobilisasi awal	Mempertahankan dan mengembalikan range of motion secara aman.	Active-assisted ROM, latihan transfer, duduk-berdiri, penggunaan alat bantu jalan sesuai instruksi.
Fase pembebanan bertahap	Adaptasi mekanis kalus dan pemulihan toleransi beban.	Non-weight bearing, touch-down, partial weight bearing, weight bearing as tolerated, hingga full weight bearing.
Fase penguatan	Mengembalikan kekuatan, endurance,	Theraband, closed-chain exercise, balance training, wobble board,

Fase Rehabilitasi	Target Utama	Intervensi Kunci
	propriocepsi, dan stabilitas dinamis.	core stability, gait retraining.
Fase kembali aktivitas	Kembali bekerja, aktivitas harian, atau olahraga dengan risiko cedera ulang minimal.	Latihan naik-turun tangga, squat bertahap, simulasi kerja, latihan spesifik olahraga, evaluasi return to work/sport.

Fase Rehabilitasi Pasca-Fraktur Ekstremitas Bawah

Progresi bertahap — waktu bersifat perkiraan dan menyesuaikan stabilitas fiksasi serta evaluasi radiologis



Progresi pembebanan

mengikuti instruksi ortopedi dan evaluasi radiologis



Pembebanan terukur merangsang remodeling sesuai Hukum Wolff.
Pembebanan terlalu dini pada fiksasi yang belum stabil dapat menyebabkan loss of reduction atau kegagalan implan — kemajuan tiap fase ditentukan kondisi pasien, bukan kalender.

Gambar 6.3 Contoh Progresi Fase Rehabilitasi dan Pembebanan Pasca-Fraktur Ekstremitas Bawah.

Fase akut dimulai sejak hari pertama atau kedua pascaoperasi. Tujuannya adalah mengurangi nyeri, edema, mencegah trombosis vena dalam, dan mempertahankan aktivasi otot. Intervensi meliputi elevasi tungkai, ankle pumping, latihan napas, kontraksi isometrik kuadrisep dan hamstring, serta latihan sendi yang tidak terlibat.

Fase subakut berlangsung sekitar minggu kedua hingga keenam. Tujuannya adalah mengembalikan rentang gerak sendi secara aman. Latihan active-assisted range of motion, mobilisasi sendi bertahap, latihan transfer, duduk-berdiri, dan penggunaan alat bantu mulai diberikan sesuai stabilitas fraktur dan kondisi luka.

2 Fase pembebanan bertahap dilakukan sesuai instruksi ortopedi dan hasil evaluasi radiologis. Tahapannya meliputi non-weight bearing, touch-down weight bearing, partial weight bearing, weight bearing as tolerated, hingga full weight bearing. Pembebanan bertahap mengikuti prinsip bahwa stres mekanis terukur dapat merangsang remodeling tulang sesuai hukum Wolff, tetapi pembebanan terlalu dini pada fiksasi yang belum stabil dapat menyebabkan loss of reduction atau kegagalan implan.

Fase lanjut berfokus pada penguatan otot, proprioepsi, keseimbangan, gait retraining, dan latihan fungsional. Latihan dapat mencakup theraband, closed-chain exercise, balance training, wobble board, naik-turun tangga, squat bertahap, serta latihan spesifik sesuai pekerjaan atau olahraga pasien. Return to work atau return to sport hanya diberikan bila nyeri minimal, range of motion adekuat, kekuatan otot mendekati sisi sehat, dan radiologi menunjukkan union yang cukup.

E. Evaluasi Klinis dan Radiologis Berkala

Interval evaluasi disesuaikan dengan jenis dan lokasi fraktur, metode tata laksana, kondisi luka, perkiraan waktu penyembuhan, serta kekhawatiran klinis yang muncul. Sebagai contoh susunan yang lazim digunakan, evaluasi dapat dilakukan pada minggu kedua, minggu keenam, minggu kedua

belas, bulan keenam, dan satu tahun. Minggu kedua difokuskan pada evaluasi luka, tanda infeksi, status neurovaskular, dan pelepasan jahitan. Minggu keenam mengevaluasi nyeri tekan lokal, awal pembentukan kalus, alignment, dan posisi implan.

Minggu kedua belas menilai maturasi kalus, bridging cortex, serta kesiapan peningkatan pembebanan. Pada bulan keenam hingga satu tahun, evaluasi difokuskan pada fungsi lokomosi, rentang gerak sendi, kekuatan otot, pola berjalan, nyeri kronis, dan kualitas hidup. Instrumen seperti **Lower Extremity Functional Scale** dapat digunakan untuk menilai luaran fungsional pasien secara objektif.

Red flags selama pemulihan meliputi nyeri yang makin berat, bengkak progresif, demam, luka bernanah, kemerahan luas, nyeri betis, sesak napas, penurunan sensasi, kelemahan motorik baru, deformitas bertambah, atau nyeri tiba-tiba pada area implan. Tanda tersebut memerlukan evaluasi ulang untuk menyingkirkan infeksi, tromboemboli, loss of fixation, sindrom kompartemen terlambat, atau nonunion.

F. Arah Pengembangan Klinis Kontemporer

Perkembangan manajemen fraktur saat ini mengarah pada integrasi stabilitas mekanik, preservasi biologi, dan teknologi digital. Minimally Invasive Plate Osteosynthesis bertujuan mempertahankan vaskularisasi periosteum dan hematoma fraktur. Implan bioaktif, pelapis antimikroba, scaffold tulang, bone morphogenetic protein, 3D printing, navigasi komputer, robotik, artificial intelligence, virtual reality, dan eksoskeleton menjadi arah inovasi masa depan dalam mempercepat penyembuhan, menurunkan komplikasi, dan meningkatkan rehabilitasi.

PENUTUP

35

Fraktur ekstremitas bawah merupakan cedera muskuloskeletal yang tidak hanya berdampak pada kontinuitas tulang, tetapi juga pada fungsi lokomosi, kemandirian pasien, kualitas hidup, serta kemampuan kembali bekerja dan beraktivitas. Oleh karena itu, keberhasilan penatalaksanaan fraktur tidak dapat dinilai hanya dari tercapainya penyatuan tulang secara radiologis, melainkan harus dilihat secara menyeluruh melalui pemulihan nyeri, kekuatan otot, rentang gerak sendi, pola berjalan, dan fungsi aktivitas harian.

Prognosis pasca-fraktur sangat dipengaruhi oleh jenis fraktur, derajat kerusakan jaringan lunak, stabilitas fiksasi, vaskularisasi lokal, komorbid pasien, serta kepatuhan terhadap rehabilitasi. Fraktur terbuka, kominitif, intraartikular, atau akibat trauma energi tinggi memiliki risiko komplikasi yang lebih besar dibandingkan fraktur sederhana dan tertutup. Komplikasi yang dapat terjadi meliputi sindrom kompartemen, perdarahan, cedera neurovaskular, infeksi, emboli lemak, tromboemboli vena, delayed union, nonunion, malunion, kekakuan sendi, atrofi otot, avascular necrosis, osteomyelitis kronis, hingga artritis pascatrauma.

Rehabilitasi memegang peranan penting sebagai bagian integral dari tata laksana fraktur. Program rehabilitasi harus dimulai sedini mungkin, dilakukan bertahap, serta disesuaikan dengan stabilitas fraktur, kondisi jaringan lunak, nyeri, dan kemampuan fungsional pasien. Kolaborasi antara dokter ortopedi, dokter rehabilitasi medik, fisioterapis, perawat, pasien, dan keluarga menjadi kunci utama untuk mencegah komplikasi sekunder dan mengoptimalkan pemulihan fungsi.

Dengan demikian, manajemen fraktur pasca-trauma harus dipandang sebagai suatu proses berkelanjutan mulai dari fase akut, tindakan definitif, pencegahan komplikasi, rehabilitasi, hingga evaluasi jangka panjang. Pendekatan yang komprehensif, multidisiplin, dan berorientasi pada fungsi akan memberikan peluang terbaik bagi pasien untuk mencapai penyembuhan yang

optimal dan kembali menjalani kehidupan sehari-hari secara mandiri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agradi, P., Setiawan, M. N., Ismono, D., & Herman, H. (2019). Hasil fungsional pasca operasi berbagai jenis pembedahan pada giant cell tumor Campanacci grade 3 ekstremitas bawah di Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung. *Jurnal Sistem Kesehatan*, 5(1).
2. Azis, N. O. (2018). Trauma ortopedi pasien kecelakaan lalu lintas di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo periode Juli–Desember 2017 [Disertasi doctoral, Universitas Hasanuddin].
3. Buckley, R. E., Moran, C. G., & Apivatthakakul, T. (Eds.). (2018). *AO principles of fracture management (3rd ed.)*. Stuttgart: Thieme.
4. Colonna, P. C. (1928). Fracture of the neck of the femur in childhood: A report of six cases. *Annals of Surgery*, 88(5), 902–907.
5. Evans, E. M. (1949). The treatment of trochanteric fractures of the femur. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 31-B(2), 190–203.
6. Fitri, H. (2023). Karakteristik trauma muskuloskeletal pada anak di masa pandemi Covid-19 di rumah sakit Kota Jambi tahun 2019–2023 [Disertasi doctoral, Universitas Jambi].
7. Garden, R. S. (1961). Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 43-B(4), 647–663.
8. Gizela, B. A., Almira, A. S., & Pratiwi, W. R. (2024). Prevalensi cedera akibat jatuh pada kelompok lanjut usia dan pra-lanjut usia. *MJS Medical Journal of Soeradji*, 1(1), 46–60.
9. Gustilo, R. B., & Anderson, J. T. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 58(4), 453–458.

10. Gustilo, R. B., Mendoza, R. M., & Williams, D. N. (1984). Problems in the management of type III (severe) open fractures: A new classification of type III open fractures. *The Journal of Trauma*, 24(8), 742–746.
11. Hartono, M. (2024). Hubungan penggunaan skin traksi dengan tingkat nyeri pada pasien fraktur femur pre operasi di ruang rawat inap RSD Sidoarjo: Penelitian cross sectional [Disertasi doctoral, Universitas Airlangga].
12. Hilmi, M. A. P. (2022). Prevalensi dan karakteristik kasus fraktur collum femur di RST Soepraoen tahun 2019–2021 [Disertasi doctoral, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim].
13. Laswati, H., Pawana, A., & Arfianti, L. (2015). Ilmu kedokteran fisik dan rehabilitasi. Jakarta: CV. Sagung Seto.
14. Luhur, L. J., & Dharmawan, I. P. G. (2021). Gambaran karakteristik pasien fraktur terbuka ekstremitas bawah di rumah sakit. *Nursing Arts*, 15(1), 60–66.
15. Maimunarti, M. (2013). Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian infeksi pada fraktur terbuka post debridemen di ruang perawatan bedah ortopedi Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar [Disertasi doctoral, Universitas Hasanuddin].
16. Meinberg, E. G., Agel, J., Roberts, C. S., Karam, M. D., & Kellam, J. F. (2018). Fracture and dislocation classification compendium—2018. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 32(Suppl 1), S1–S170.
17. Müller, M. E., Nazarian, S., Koch, P., & Schatzker, J. (1990). The comprehensive classification of fractures of long bones. Berlin: Springer-Verlag.
18. Muti, A. F., Yani, A., & Refdanita, R. (2020). Studi potensi interaksi obat pada pasien fraktur di RSUD Tarakan Jakarta. *Pharmacy: Jurnal Farmasi Indonesia*, 317–331.

19. National Institute for Health and Care Excellence. (2016). Fractures (complex): Assessment and management (NICE guideline NG37). London: NICE.
20. National Institute for Health and Care Excellence. (2016). Fractures (non-complex): Assessment and management (NICE guideline NG38). London: NICE.
21. Pauwels, F. (1935). Der Schenkelhalsbruch: Ein mechanisches Problem. Stuttgart: Ferdinand Enke.
22. Ramdhani, M. Z., Nugraha, B. A., & Rahayu, U. (2024). Manajemen pasca bedah pada kasus open fracture segmental cruris: Case report. SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah, 3(6), 3144–3157.
23. Russell, T. A., & Taylor, J. C. (1992). Subtrochanteric fractures of the femur. Dalam B. D. Browner, J. B. Jupiter, A. M. Levine, & P. G. Trafton (Eds.), Skeletal trauma. Philadelphia: W. B. Saunders.
24. Sagala, L. M. B., Pramestirini, R. A., Siringoringo, M., Perangin-Angin, I. H., Firmansyah, Y., Anwar, T., & Rustiati, N. (2025). Keperawatan dewasa: Sistem muskuloskeletal, integumen, persepsi sensori, dan persarafan. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
25. Salter, R. B., & Harris, W. R. (1963). Injuries involving the epiphyseal plate. The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume, 45(3), 587–622.
26. Sarman, A. F. S. (2023). Karakteristik pasien fraktur femur di RSUD Labuang Baji Makassar periode Januari 2021–Oktober 2022 [Disertasi doctoral, Universitas Hasanuddin].
27. Schatzker, J., McBroom, R., & Bruce, D. (1979). The tibial plateau fracture: The Toronto experience 1968–1975. Clinical Orthopaedics and Related Research, (138), 94–104.
28. Seinsheimer, F. (1978). Subtrochanteric fractures of the femur. The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume, 60(3), 300–306.

29. Sitio, R. (2017). Kualitas hidup klien yang mengalami fraktur ekstremitas bawah dengan pemasangan open reduction internal fixation (ORIF). *Jurnal Kesehatan Ilmiah Indonesia*, 2(3), 51–58.
30. Solomon, L., Warwick, D., & Nayagam, S. (2018). *Apley & Solomon's system of orthopaedics and trauma* (10th ed.). Boca Raton: CRC Press.
31. Suaryanti, N. M. A., Maha Wirajaya, M. K., & Sudiari, M. (2022). Analisis kelengkapan rekam medis pasien rawat inap fraktur tulang anggota gerak di Rumah Sakit Bhayangkara Denpasar. *Jurnal Kesehatan Vokasional*, 7(2), 70.
32. Tornetta, P., Ricci, W. M., Court-Brown, C. M., McQueen, M. M., & McKee, M. (Eds.). (2019). *Rockwood and Green's fractures in adults* (9th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.
33. Utami, M. N. (2016). Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian neglected fracture pada pasien Rumah Sakit Umum Daerah A. Dadi Tjokrodipo Bandar Lampung.
34. Wilda, L. O. (2025). *Buku referensi keperawatan gerontik: Strategi inovasi dan praktik terbaik. Optimal Untuk Negeri*.
35. Winquist, R. A., Hansen, S. T., & Clawson, D. K. (1984). Closed intramedullary nailing of femoral fractures: A report of five hundred and twenty cases. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 66(4), 529–539.
36. World Health Organization. (2023). *Global status report on road safety 2023*. Geneva: World Health Organization.
37. Yulianda, O. (2025). Analisis tingkat nyeri pada pasien paska operasi ORIF dengan intervensi isometric exercise di Rumah Sakit Urip Sumoharjo Provinsi Lampung tahun 2025 [Disertasi doctoral, Poltekkes Kemenkes Tanjungkarang].

TENTANG PENULIS

dr. Wendy Hendrika, Sp.OT.,P.L(K), adalah seorang Dokter Spesialis Bedah Ortopedi dan Traumatologi Konsultan Panggul dan Lutut (Hip and Knee Adult Reconstruction). Penulis merupakan dosen tetap Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia sejak 1 Agustus 2019, saat ini penulis memiliki jabatan akademik Lektor (300.00) dan telah tersertifikasi sebagai dosen profesional (Sertifikasi Dosen) yang diterbitkan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi pada tahun 2026.

Sebagai seorang pendidik, beliau aktif dalam melaksanakan pengajar, penelitian, dan pengabdian masyarakat yang merupakan tugas tridarma dosen. Beberapa penelitiannya telah dipublikasi pada jurnal nasional dan jurnal internasional.

dr. Anggi Halley Anastasius, M.Ked (Surg), Sp.OT, adalah seorang Dokter Spesialis Orthopaedi dan Traumatologi (bedah tulang) yang berfokus menangani cedera serta gangguan pada sistem muskuloskeletal (tulang, sendi, otot, tendon, dan saraf). Penulis merupakan lulusan Program Dokter Spesialis Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara / FK USU pada Desember 2023. Penulis merupakan dosen tetap Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia sejak 1 Februari 2026.

dr. Gerard Benny Nanna, Sp.OT, adalah seorang Dokter Spesialis Ortopedi dan Traumatologi (ahli bedah tulang dan sendi). Beliau merupakan alumnus Program Pendidikan Dokter Spesialis (PPDS) Ortopedi dan Traumatologi dari Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin (UNHAS) yang lulus pada Juni 2026. Sebagai spesialis ortopedi dan traumatology penulis menangani berbagai keluhan terkait sistem muskuloskeletal, seperti cedera olahraga, patah tulang, masalah sendi, otot, serta ligament.